

Schriftenreihe

KONSTRUKTIONSTECHNIK

Herausgegeben von W. Beitz

15

Untersuchung der Tragfähigkeit und des Füge- und Trennverhaltens von lösbaren Verbindungen

Ingo Bruchhold



Institut für Maschinenkonstruktion
- Konstruktionstechnik -
Berlin 1988

Vorwort des Herausgebers

Die Entwicklung marktfähiger Produkte bei vertretbarem Konstruktions- und Fertigungsaufwand gehört heute zu den wesentlichen Aufgaben der industriellen Praxis. Die hierzu notwendige Forschung über Methoden und Hilfsmittel für den Entwicklungs- und Konstruktionsprozeß sowie hinsichtlich der Eigenschaften und Gestaltungsmöglichkeiten von Werkstoffen und Konstruktionselementen kann von den Unternehmen, insbesondere von der mittelständischen Industrie, nur teilweise selbst durchgeführt werden. Es gehört deshalb zu den wichtigsten Aufgaben der anwendungsorientierten Hochschulforschung, diesen Forschungsbedarf zu decken und den industriellen Anwendern die Forschungsergebnisse in verständlicher und allgemein zugänglicher Form zu vermitteln (Technologie-Transfer).

Vorliegende Schriftenreihe des Fachgebietes Konstruktionstechnik im Institut für Maschinenkonstruktion soll deshalb über Forschungsarbeiten berichten, die mit Unterstützung von Haushaltsmitteln, Personal- und Sachmitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft, des Bundesministers für Forschung und Technologie oder des Berliner Senators für Wirtschaft sowie mit direkter Industrieunterstützung durchgeführt werden. Redaktionelle Grundlage sind zum einen Abschlußberichte geförderter Forschungsvorhaben, zum anderen wissenschaftliche Grundlagenarbeiten in Form von Dissertationen.

Die Ergebnisse der vorliegenden experimentellen Untersuchungen ermöglichen es dem Konstrukteur, die untersuchten lösbaren Bauteilverbindungen besser und sicherer für seine Fügeaufgaben einzusetzen. Neben dem Tragverhalten bei ruhender und schwingender Kurz- und Langzeitbelastung sind vor allem die Kenngrößen über das Füge- und Trennverhalten der Verbindungen interessant, da diese eine Beurteilung des Montage- und Demontageaufwands, insbesondere bei einer Mechanisierung, zulassen.

Die aus den Untersuchungsergebnissen abgeleiteten Auswahlhilfen in Katalogform können allerdings nur als erster Schritt betrachtet werden und müssen durch weitere Forschungsarbeiten vervollständigt werden.

Berlin, November 1988

W. Beitz

Schriftenreihe

KONSTRUKTIONSTECHNIK

Herausgegeben von W. Beitz

15

**Untersuchung der Tragfähigkeit
und des Füge- und Trennverhaltens
von lösbaren Verbindungen**

Ingo Bruchhold



**Institut für Maschinenkonstruktion
- Konstruktionstechnik -
Berlin 1988**

Abstract

Name: Bruchhold
Vorname: Ingo
Titel: Untersuchung der Tragfähigkeit und des Füge- und Trennverhaltens von lösbaren Verbindungen

Beim Recycling, bei der Instandhaltung oder aus funktionsbedingten Gründen ist es oft wünschenswert, leicht trennbare bzw. montierbare Bauteilverbindungen mit ausreichender Tragfähigkeit zum Einsatz zu bringen.

Ausgehend von einem Mangel an Auswahlhilfen werden im Rahmen dieser Arbeit Wirkungsgrade und Koeffizienten definiert, die den quantitativen Vergleich des statischen bzw. dynamischen Füge- und Trennverhaltens für kraft-, form- und stoffschlüssige Verbindungen unter Anwendung von Kraft-, Momenten- und Energiebilanzen ermöglichen.

Für verschiedene Verbindungen, wie dem Spannverschluß, dem 1/4-Drehverschluß, dem Druck-Drehverschluß, der Schraube mit Mutter, dem Druck-Druckverschluß, dem Stahlband mit Schloß und dem Klettverschluß, wird das statische und dynamische Tragverhalten bei Kurz- und Langzeitbelastung bestimmt. Für den Spannverschluß und die Schraube mit Mutter wird zusätzlich das Füge- und Trennverhalten experimentell untersucht und mit Hilfe der definierten Kenngrößen quantitativ beschrieben. Zur Durchführung der experimentellen Untersuchungen werden Prüfverfahren und -bedingungen entwickelt. Unter Berücksichtigung des beanspruchungsgerechten Konstruierens werden für die verschiedenen Gestaltvarianten von Verbindungen Verbesserungsvorschläge angegeben.

Ferner wird der Einfluß der Wirkraumgestaltung auf das Füge/Trennverhalten von Verbindungen durch Analyse von Gestaltungsbeispielen und Experimenten mit Variation der Anschlußsteifigkeit verdeutlicht.

Zur Erleichterung der Auswahl von verschiedenen Verbindungen bezüglich des Füge- und Trennverhaltens wird ein Konstruktionskatalog vorgeschlagen, der als Zugriffsmerkmale u.a. die definierten Auswahlkenngrößen enthält. Dieser Katalog ist entsprechend dem Erkenntnisstand noch unvollständig und kann deshalb nur als erster Entwurf betrachtet werden.

o. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Beitz vertritt das Fachgebiet Konstruktionstechnik im Institut für Maschinenkonstruktion der Technischen Universität Berlin. Die Meinung des Autors braucht nicht immer mit der des Herausgebers übereinzustimmen.

Dr.-Ing. Ingo Bruchhold war vom 1. 10. 1983 bis zum 31. 10. 1987 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Maschinenkonstruktion / Konstruktionstechnik der Technischen Universität Berlin tätig.

Die vorliegende Forschungsarbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert. Sie ist zugleich Dissertation des Autors (TUB 1988; Berichter: Beitz, Ehrlenspiel).

ISSN 0173-0509
ISBN 3 7983 1266 4

Druck: Offset-Druckerei Gerhard Weinert GmbH,
1000 Berlin 42

Vertrieb: Technische Universität Berlin, Universitätsbibliothek
- Abteilung Publikationen -
Straße des 17. Juni 135, 1000 Berlin 12
Telefon: (030) 314 22976. Telex: 01-83 872 ubtu d

		<u>Seite</u>
0	<u>Verwendete Kurzzeichen</u>	9
1	<u>Einleitung</u>	11
1.1	Probleme bei der Auswahl von Verbindungen für die ressourcenbewußte Bauteilgestaltung	11
1.2	Ziele der Arbeit	13
2	<u>Definieren von Auswahlkenngrößen, die den quantitativen Vergleich von Verbindungen bezüglich des Füge- und Trennverhaltens ermöglichen</u>	15
2.1	Das quasistatische Füge/Trennverhalten	17
2.1.1	Definition und Anwendungen des Füge-, Löse- und Zerstörungswirkungsgrades	17
2.1.2	Definition und Anwendungen der Vorspannkoeffizienten beim einmaligen Fügen	21
2.2	Das dynamische Füge/Löseverhalten	22
2.2.1	Definition und Anwendungen der dynamischen Füge-, Löse- und Vorspannkoeffizienten	22
2.3	Allgemeine Betrachtungen zur experimentellen und analytischen Bestimmung der definierten Wirkungsgrade und Koeffizienten	23

	<u>Seite</u>
3 <u>Experimentelle und analytische Bestimmung von Kenngrößen für eine Auswahl verschiedener handelsüblicher und neu-entwickelter lösbarer Verbindungen</u>	30
3.1 Probenauswahl und Versuchsprogramm	30
3.2 Beschreibung der Proben	34
3.2.1 Der Spannverschluß	34
3.2.2 Der 1/4-Drehverschluß	37
3.2.3 Der Druck-Druckverschluß	38
3.2.4 Der Druck-Drehverschluß	40
3.2.5 Das Band mit Schloß	41
3.2.6 Der Klettverschluß	43
3.2.7 Die Schraube mit Mutter	43
3.3 Prüfstandbeschreibung und Versuchsdurchführung	47
3.3.1 Prüfstand-Zugversuch	47
3.3.2 Prüfstand-Dauerschwingversuch	54
3.3.3 Prüfstand-Zeitstandzugversuch	57
3.3.3.1 Zeitstandzugversuch: Klettverschluß	58
3.3.3.2 Zeitstandzugversuch: Schrauben mit Muttern	58
3.3.4 Prüfstand-Spannungsrelaxationsversuch	61
3.3.4.1 Versuchsdurchführung mit Klettverschlüssen	62
3.3.4.2 Versuchsdurchführung mit Schrauben und Muttern	62
3.3.5 Prüfstand-Quasistatische Füge/Löseversuche	63
3.3.5.1 Quasistatische Füge/Löseversuche mit Spannverschlüssen	63

	<u>Seite</u>
3.3.5.2 Quasistatische Füge/Löseversuche mit Schrauben/Muttern	65
3.3.6 Prüfstand-Dynamische Füge/Löseversuche	68
3.3.6.1 Dynamische Füge/Löseversuche mit Spannverschlüssen	68
3.3.6.2 Dynamische Füge/Löseversuche mit Schrauben/Muttern	69
3.3.7 Erläuterung zur Steuerung und Regelung der Füge/Lösevorrichtungen	71
3.4 Versuchsergebnisse	75
3.4.1 Versuchsergebnisse für Spannungsverschlüsse	75
3.4.2 Versuchsergebnisse für 1/4-Drehverschlüsse	88
3.4.3 Versuchsergebnisse für Druck-Druckverschlüsse	90
3.4.4 Versuchsergebnisse für Druck-Drehverschlüsse	94
3.4.5 Versuchsergebnisse für Bänder mit Schloß	97
3.4.6 Versuchsergebnisse für Klettverschlüsse	100
3.4.7 Versuchsergebnisse für Schrauben mit Muttern	107
4 <u>Einsatz und Auswahl von Verbindungen</u>	137
4.1 Vergleich verschiedener Verbindungsprinzipien bezüglich Tragfähigkeit und Füge- und Trennverhalten	137

	<u>Seite</u>
4.1.1	Quantitativer Vergleich von Spannver- schluß und Schraube mit Mutter 137
4.1.2	Qualitativer Vergleich für eine Auswahl verschiedener Verbindungselemente 142
4.2	Einfluß der Wirkraumgestalt auf das Füge/Trennverhalten einer Verbindung 146
4.3	Entwicklung eines Konstruktionskataloges für Verbindungen mit füge- und trennver- haltenbeschreibenden Zugriffsmerkmalen 149
5	<u>Schlußbetrachtung</u> 154
5.1	Gesamtzusammenfassung 154
5.2	Ausblick 155
6	<u>Literaturangaben</u> 157

0 Verwendete Kurzzeichen

Symbol	Einheit	Bezeichnung
A_F	kNm	Fügearbeit
A_L	kNm	Lösearbeit
A_Z	kNm	Zerstörarbeit
E_S	kNm	Gespeicherte Energie
$E_{O,2}$	kNm	Speicherbare Energie 0,2 %
$F_V(t)$	kN	Vorspannkraft (nach der Zeit t)
$F_V(t=0) = F_V$	kN	Vorspannkraft unmittelbar nach dem Fügen
$F_{V \max}$	kN	Maximale Vorspannkraft
$F_F \max$	kN	Maximale Fügekraft
$F_L \max$	kN	Maximale Lösekraft
$F_Z \max$	kN	Maximale Zerstörkraft
F_M	kN	Mittelkraft
F_A	kN	Ausschlagskraft
F_D	kN	Dauerschwingbelastung
$F_n(n)$	kN	Vorspannkraft nach n Fügezyklen
F_G	kN	Gewichtskraft
$F_F(n)$	kN	Fügekraft nach n Fügezyklen
$F_L(n)$	kN	Lösekraft nach n Fügezyklen
$F \max$	kN	Maximal übertragbare Zugkraft
F_n	kN	Laststufen
$M_V(t)$	kNm	Vorspannmoment nach der Zeit t
$M_V(t=0) = M_V$	kN	Vorspannmoment unmittelbar nach dem Fügen
$M_V \max$	kNm	Maximales Vorspannmoment
$M_F \max$	kNm	Maximales Fügemoment
$M_L \max$	kNm	Maximales Lösemoment
$M_Z \max$	kNm	Maximales Zerstörmoment
$M_n(n)$	kNm	Vorspannmoment nach n Fügezyklen
$M_F(n)$	kNm	Fügemoment nach n Fügezyklen

Symbol	Einheit	Bezeichnung
$M_L (n)$	kNm	Lösemoment nach n Lösezyklen
η_F		Fügewirkungsgrad
η_L		Lösewirkungsgrad
η_Z		Zerstörungswirkungsgrad
$S_V (t)$		Statischer Vorspannkoeffizient
S_V		Vorspannkoeffizient
$S_n (n)$		Dynamischer Vorspannkoeffizient
$S_F (n)$		Dynamischer Fügekoeffizient
$S_L (n)$		Dynamischer Löseoeffizient
L_F	%	Relative Luftfeuchte
T_R	°C	Raumtemperatur
n		Füge/Lösezyklen
V	mm/min	Abzugsgeschwindigkeit
t	h	Zeit
C	N/mm	Federsteifigkeit
C_P	N/mm	Federsteifigkeit - Pneumatik
C_H	N/mm	Federsteifigkeit - Hydraulik
C_A	N/mm	Steifigkeit der Anschlußkonstruktion
P	bar	Druck
L	%	Überlebenswahrscheinlichkeit
l_n	mm	Klemmlänge
Δl	mm	Längenänderung
l	mm	Länge
b	mm	Breite
h	mm	Höhe
d	mm	Durchmesser
φ	°	Schwenkwinkel
G	kg	Gewicht

1 Einleitung

1.1 Probleme bei der Auswahl von Verbindungen für die ressourcenbewußte Bauteilgestaltung

Beim Recycling, bei der Instandhaltung oder aus funktionsbedingten Gründen ist es oft wünschenswert, leicht trennbare bzw. leicht demontierbare Bauteilverbindungen mit ausreichender Tragfähigkeit zum Einsatz zu bringen /7, 44, 49, 67/.

Zur Unterstützung einer kostengünstigen /32/ Montage bzw. Demontage sollen die Verbindungen mit geringem Arbeits- und Energieaufwand gefügt /22/ und gelöst oder zerstört werden können /65/. In bestimmten Fällen muß dieses von Hand und ohne Spezialwerkzeug schnell und einfach möglich sein.

Es ist eine Vielzahl handelsüblicher Verbindungselemente bekannt (Beispiele Bild 1a, b), die sich beim Montieren bzw. Demontieren von Bauteilen leicht, d. h. also mit geringen Kräften bzw. Momenten fügen, lösen oder zerstören lassen. Oft sind die Kenntnisse über deren Tragfähigkeit bei statischer und dynamischer Kurz- bzw. Langzeitbelastung zur Zeit noch nicht ausreichend vorhanden /5, 6, 9, 10, 11/. Für die Darstellung und den Vergleich verschiedener kraft-, form- und stoffschlüssiger Verbindungen bezüglich des Füge- bzw. Trennverhaltens fehlen geeignete Auswahlkenngrößen /4/.

Dem Konstrukteur steht eine Vielzahl unterschiedlicher Informationsunterlagen zur Verfügung, wie z. B. Herstellerkataloge /68, 62, 66, 15, 30, 31, 45, 46/, Übersichtskataloge /1, 18, 19, 20, 21, 50, 61/ oder Konstruktionskataloge /54, 56, 57, 59, 69/, in denen dann aber jeweils nur eine begrenzte Auswahl von Verbindungen nach unterschiedlichen Kriterien geordnet ist.

Außerdem sind Verfahren bekannt, die eine Lösungsfindung beim Entwickeln eines Produktes vereinfachen, so auch das Finden geeigneter Verbindungsmöglichkeiten /47/.

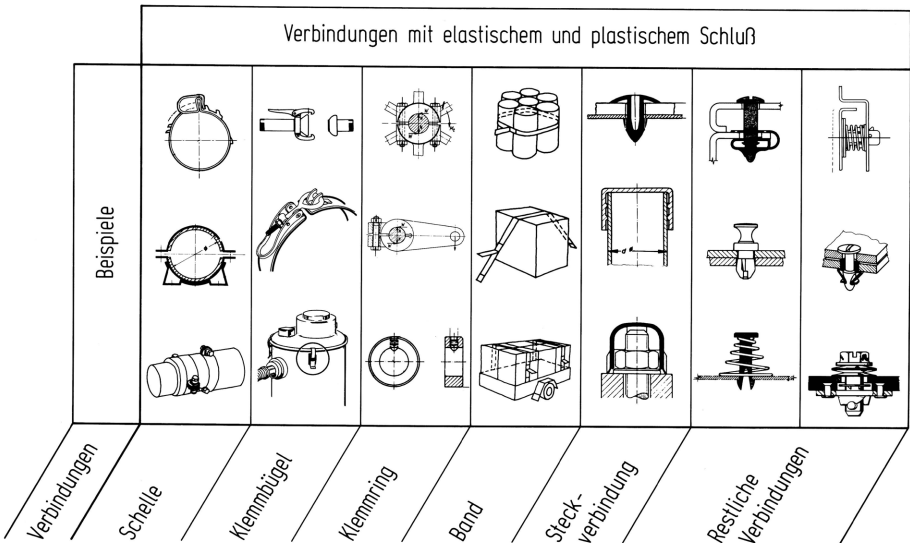
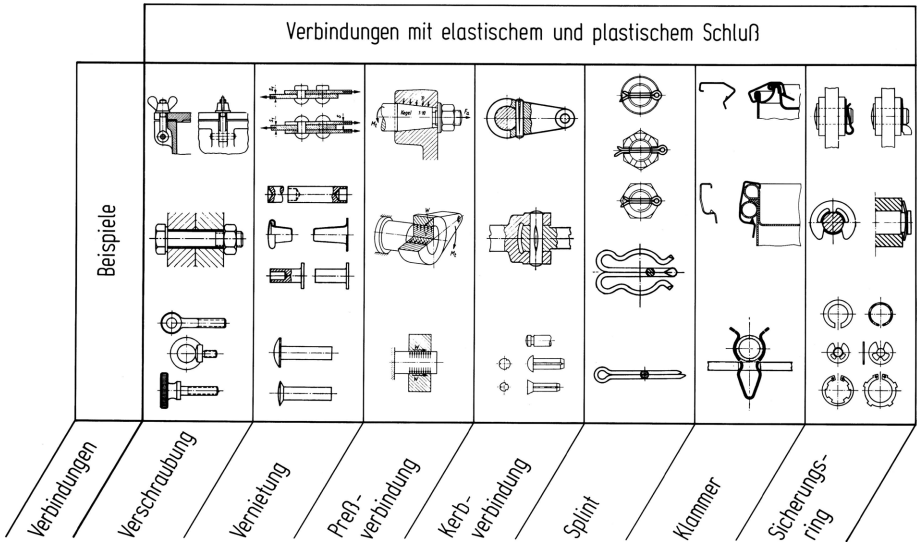


Bild 1a, b:

Beispiele von lösbaren Verbindungen/Verbindungs-
elementen mit elastischem und plastischem Schluß

1.2 Ziele der Arbeit

Ein Ziel der Arbeit ist es, Auswahlkenngrößen zu definieren, die das Füge- und Trennverhalten von kraft-, form- und stoffschlüssigen Verbindungen/Verbindungselementen quantitativ beschreibbar machen.

Für einige form- und kraftschlüssige Verbindungen, die sich durch ihr Füge- bzw. Trennverhalten als recyclingfördernd und energiesparend erweisen könnten (Bild 9), soll ferner das statische bzw. dynamische Tragverhalten bestimmt werden.

Da die Verschraubung das am häufigsten verwendete Verbindungselement im Maschinenbau (Bild 2) ist und ein Vergleich bezüglich des Füge- und Trennverhaltens mit dem wenig verwendeten Spannschluß (Klemmbügel) interessant erscheint, sollen beispielhaft für diese zwei Prinzipvarianten die definierten Auswahlkenngrößen experimentell bzw. analytisch ermittelt werden.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es, einen Konstruktionskatalog für Verbindungen zu entwickeln, mit dem dann unter Zuhilfenahme der definierten Kenngrößen eine Auswahl von Verbindungen durch Vergleich des Füge- bzw. Trennverhaltens erleichtert wird.

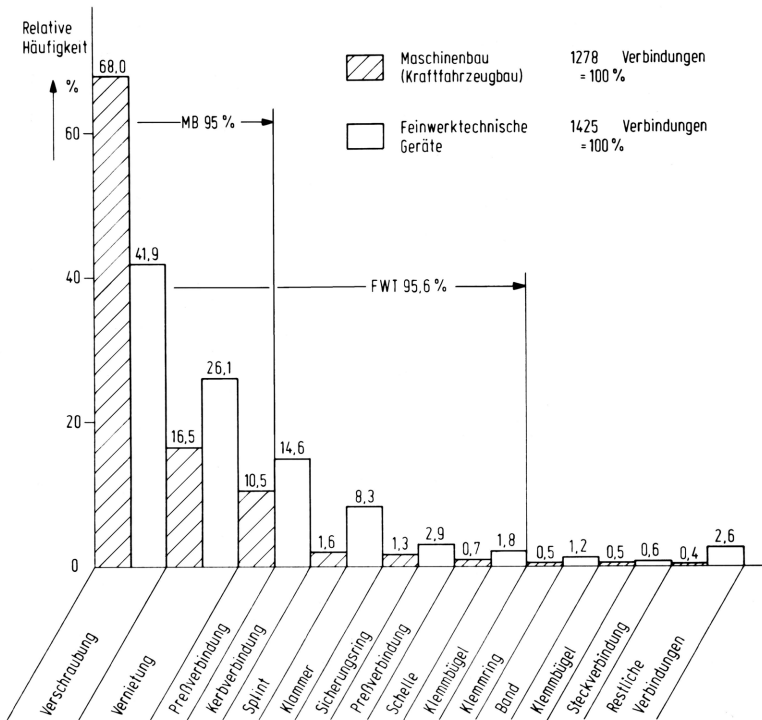


Bild 2: Relative Häufigkeit der Anwendung verschiedener Verbindungen mit plastischem und elastischem Schluß im Maschinenbau und in der Feinwerktechnik /55/

2 Definieren von Auswahlkenngrößen, die den quantitativen Vergleich von Verbindungen bezüglich des Füge- und Trennverhaltens ermöglichen

Es erscheint für die Verbindungsauswahl notwendig, Auswahlkenngrößen zu definieren, mit denen das Füge- und Trennverhalten von Verbindungen/Verbindungselementen beschrieben werden kann. Hierbei sollen physikalische Größen wie z. B. Energien Anwendung finden, die unabhängig vom Aufbau und der Funktion der Verbindungen einen zahlenmäßigen Vergleich ermöglichen.

Folgende Anforderungen sollten diese Auswahlkenngrößen erfüllen:

- Vergleich von kraft-, form- und stoffschlüssigen Verbindungen und
- Vergleich verschiedener Gestaltvarianten und Prinzipvarianten ermöglichen,
- quantitativ darstellbar und zahlenmäßig einfach bestimmbar sein sowie
- Energiebilanzen unter Berücksichtigung des Energieerhaltungssatzes ermöglichen.

Um das Füge- bzw. Trennverhalten von Verbindungen beschreiben zu können ist es hilfreich, zunächst eine Unterteilung nach verschiedenen Betriebsphasen der Verbindungen vorzunehmen.

Das quasistatische Füge/Trennverhalten beschreibt Zustände bzw. Vorgänge beim einmaligen Fügen, im gefügten Zustand und beim anschließenden zerstörungsfreien Trennen der Verbindung durch Zerstören des Verbindungselements.

Das dynamische Füge/Löseverhalten beschreibt Zustände bzw. Vorgänge während des wiederholten Füge/Lösevorgangs.

Mit Hilfe von Wirkungsgraden und Koeffizienten, die in Bild 3 zusammengestellt sind, wird das quasistatische und dynamische Füge/Trennverhalten quantitativ beschrieben.

	Kraftschlüssig	Formschlüssig	Stoffschlüssig	Bezeichnung
Q U A S I S T A T I S C H	A_F A_L A_Z	A_F A_L A_Z	- A_Z	- Fügearbeit - Lösearbeit (✖) - Zerstörarbeit
	E_S $E_{0,2}$	0 $E_{0,2}$	0 $E_{0,2}$	- gespeicherte Energie - speicherbare Energie 0,2%
	$F_{V(t)}$ $F_{V \max}$ $F_{F \max}$ $F_{L \max}$ $F_{Z \max}$	0 0 $F_{F \max}$ $F_{L \max}$ $F_{Z \max}$	0 0 - - $F_{Z \max}$	- Vorspannkraft (nach der Zeit t) - Vorspannkraft max. - Fügekraft max. - Lösekraft max. (✖) - Zerstörkraft max.
	$M_{V(t)}$ $M_{V \max}$ $M_{F \max}$ $M_{L \max}$ $M_{Z \max}$	0 0 $M_{F \max}$ $M_{L \max}$ $M_{Z \max}$	0 0 - - $M_{Z(\max)}$	- Vorspannmoment (nach der Zeit t) - Vorspannmoment max. - Fügemoment max. - Lösemoment max. (✖) - Zerstörmoment max.
	$\eta_F = \frac{E_S}{A_F}$ $\eta_L = \frac{E_S}{E_S + A_L}$ $\eta_Z = \frac{E_{0,2}}{A_Z}$	0 0 η_Z	- - η_Z	- Fügewirkungsgrad - Lösewirkungsgrad (✖) - Zerstörungswirkungsgrad
	$S_{V(t)} = \frac{F_{V(t)} \Delta}{F_{V(t=0)} M_{V(t=0)}}$ $S_V = \frac{F_{V(t=0)} \Delta}{F_{V\max} M_{V\max}}$	- -	- -	- stat. Vorspannkoeffizient - Vorspannkoeffizient
D Y N A M I S C H	$F_{n(n)}$ $F_{F(n)}$ $F_{L(n)}$	0 $F_{F(n)}$ $F_{L(n)}$	- - -	- Vorspannkraft (nach n Fügezyklen) (✖) - Fügekraft (nach n Fügezyklen) (✖) - Lösekraft (nach n Fügezyklen) (✖)
	$M_{n(n)}$ $M_{F(n)}$ $M_{L(n)}$	0 $M_{F(n)}$ $M_{L(n)}$	- - -	- Vorspannmoment (nach n Fügezyklen) (✖) - Fügemoment (nach n Fügezyklen) (✖) - Lösemoment (nach n Fügezyklen) (✖)
	$S_{n(n)} = \frac{F_{n(n)} \Delta}{F_{n(1)} M_{n(1)}}$ $S_{F(n)} = \frac{F_{F(n)} \Delta}{F_{F(1)} M_{F(1)}}$ $S_{L(n)} = \frac{F_{L(n)} \Delta}{F_{L(1)} M_{L(1)}}$	- $S_{F(n)}$ $S_{L(n)}$	- - -	- dyn. Vorspannkoeffizient (✖) - dyn. Fügekoeffizient (✖) - dyn. Lösekoeffizient (✖)

(✖) Es wird eine zerstörungsfreie lösbare Verbindung vorausgesetzt

Bild 3: Definition von Auswahlkenngrößen zur Beschreibung des statischen und dynamischen Füge/Trennverhaltens für kraft-, form- und stoffschlüssige Verbindungen

Der Wirkungsgrad und der Koeffizient sind einheitenlose Größen /12/. Der Wirkungsgrad ist als ein Quotient aus dem "Nutzen" dividiert durch den "Aufwand" definiert. Er kann einen Zahlenwert zwischen "Null" und "Eins" annehmen. "Null" beschreibt den ungünstigsten und "Eins" den günstigsten Fall.

Der Koeffizient ist der Faktor einer veränderlichen Größe. Er stellt z. B. den Quotienten aus gleichen physikalischen Größen zu verschiedenen Zeiten oder in verschiedenen Zuständen dar.

2.1 Das quasistatische Füge/Trennverhalten

2.1.1 Definition und Anwendungen des Füge-, Löse- und Zerstörungswirkungsgrades

Definition des Füge-, Löse- und Zerstörungswirkungsgrades:

Um eine Verbindung zu fügen und zu trennen, muß die Fügearbeit A_F und die Lösearbeit A_L beim zerstörungsfreien Trennen bzw. die Zerstörarbeit A_Z beim Trennen durch Zerstörung der Verbindungselemente verrichtet werden. Im gefügten Zustand ist in einer kraftschlüssigen Verbindung eine Energie E_S gespeichert /53/, die je nach Federsteifigkeit C_A in der Anschlußkonstruktion und dem Verbindungselement verteilt ist.

Die Verbindung kann bis zu einer Längenänderung von 0,2 % (in Analogie zur in der Technik üblichen Dehngrenze von 0,2 %) eine bestimmte Energie $E_{0,2}$ durch elastische Verformung speichern, die als speicherbare Energie bezeichnet wird.

Zur Darstellung des Füge-, Löse- bzw. Zerstörungsvorgangs werden drei Wirkungsgrade definiert, der Füge-, der Löse- und der Zerstörungswirkungsgrad (η_F, η_L, η_Z). Der "Nutzen" für den sogenannten Füge- bzw. Lösewirkungsgrad soll die in der Verbindung

gespeicherte oder nur der Anteil der im Verbindungselement gespeicherten Energie E_S sein. Beim Zerstörungswirkungsgrad η_Z ist der Nutzen die speicherbare Energie $E_{0,2}$. Der "Aufwand" ist beim Fügen die Fügearbeit A_F , beim Lösen die Summe aus gespeicherter Energie E_S und der Lösearbeit A_L . Beim Zerstören soll der "Aufwand" die Zerstörarbeit A_Z sein.

Der Fügewirkungsgrad η_F ist nur für kraft- und formschlüssige Verbindungen definiert. Der Lösewirkungsgrad η_L kann für zerstörungsfrei lösbare kraft- und formschlüssige Verbindungen bestimmt werden. Da in formschlüssigen Verbindungen keine Energie E_S gespeichert wird, nehmen für diese die Wirkungsgrade den Zahlenwert "Null" an. Der Zerstörungswirkungsgrad η_Z ist für alle drei Verbindungsarten definiert.

Einflüsse auf den Arbeits- bzw. Energieaufwand beim Zerstören

Der notwendige Arbeits- bzw. Energieaufwand beim Zerstören einer Verbindung ist nicht nur von dem Verbindungselement selbst, sondern auch von Parametern, wie z. B. Art des Zerstörverfahrens, Gestaltung des Verfahrensablaufes und Wahl geeigneter Werkzeuge, abhängig.

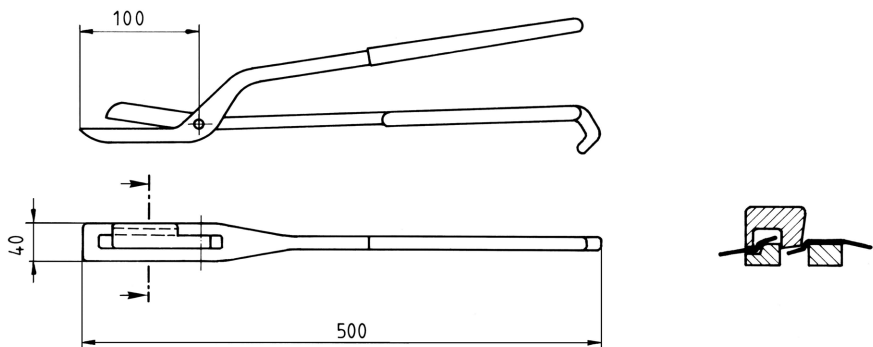


Bild 4a: Stahlband-Schneider /34/

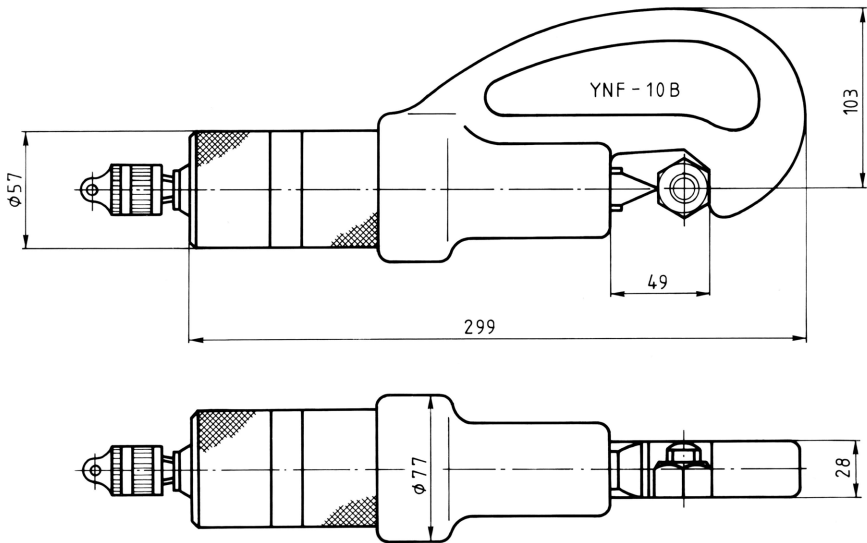


Bild 4b: Mutternsprenger /37/

Bild 4a, b: Werkzeuge zum Trennen von Verbindungen durch Zerstören des Verbindungselements

Arten des Zerstörverfahrens können u. a. chemische, thermische oder mechanische Verfahren sein. Durch Vorbehandlung des Verbindungselementes, wie z. B. das Konditionieren von Schrauben aus Polyamid, kann der Zerstörungswirkungsgrad für die jeweilige Verbindung optimiert werden. Der Energie- und Arbeitsaufwand beim Zerstören kann für eine Verbindung bei Verwendung verschiedener Werkzeuge, wie Trennscheibe oder Hammer mit Meißel, unterschiedlich sein. In den Bildern 4a, b sind beispielhaft Werkzeuge dargestellt, mit denen bestimmte Verbindungen durch Zerstören getrennt werden können. Mit dem Stahlbandschneider /34/ können Bänder im gefügten Zustand getrennt werden, mit dem Mutternsprenger /37/ kann eine Schrauben-Mutternverbindung durch Zer-

störung der Mutter gelöst werden. Die Wahl der günstigsten Trennverfahren und -bedingungen richtet sich zum einen nach der Gestalt und dem Werkstoff des Verbindungselementes und der verbundenen Bauteile, zum anderen auch nach der weiteren Verwendung der Bauteile.

Anwendungen des Füge-, Löse- und Zerstörungswirkungsgrades:

Die definierten Kenngrößen Füge-, Löse- und Zerstörungswirkungsgrad (η_F, η_L, η_Z) können sowohl bei der Auswahl geeigneter Verbindungen oder Verbindungselemente als auch bei deren Optimierung angewendet werden. Der Füge- und Lösewirkungsgrad (η_F, η_L) ist sowohl für die gesamte Verbindung als auch nur für das Verbindungselement definiert und quantitativ bestimmbar. Dadurch besteht einmal die Möglichkeit, bei vorgegebenem Wirkraum mit Hilfe der Wirkungsgrade ein geeignetes Verbindungselement auszuwählen. Andererseits kann bei einer Neukonstruktion die gesamte Verbindung, also Wirkraum und Verbindungselement, mit den auf die Verbindung bezogenen Wirkungsgrade bezüglich des Füge/Löseverhaltens optimal gestaltet werden. Der Einfluß von Füge- bzw. Trennbedingungen, wie z. B. Raumbedarf, Montagerichtung, Werkzeugauswahl, Wirkraumgestalt, werden in den hier definierten Wirkungsgraden nicht berücksichtigt.

Mit Hilfe des Füge- und Lösewirkungsgrades kann das Füge/Löseverhalten verschiedener kraftschlüssiger Verbindungen miteinander verglichen werden. Auf einfache Weise ist es möglich, bei Kenntnis des Fügewirkungsgrades Verbindungen auszuwählen, in denen Energie bei geringem Arbeitsaufwand gespeichert wird.

Soll eine lösbare kraftschlüssige Verbindung ausgewählt werden, bei der mit möglichst geringem Arbeitsaufwand die Verbindung gelöst werden kann, so dient der Lösewirkungsgrad η_L als Auswahlkenngröße.

Der Zerstörungswirkungsgrad η_Z ermöglicht den quantitativen Vergleich verschiedener kraft-, form- und stoffschlüssiger Verbindungen bezüglich des Arbeitsaufwandes beim Trennen der Verbindung durch das Überschreiten der Zugfestigkeit des Verbindungselements bei ansonsten guter Energieübertragung durch elastische Verformung des Verbindungselementes.

2.1.2 Definition und Anwendungen der Vorspannkoeffizienten beim einmaligen Fügen

Definition der Vorspannkoeffizienten beim einmaligen Fügen:

Nach dem Fügen einer kraftschlüssigen Verbindung wirkt zwischen den verbundenen Bauteilen die Vorspannkraft $F_V(t=0)$ bzw. das Vorspannmoment $M_V(t=0)$. Je nach Gestalt der Verbindung, Werkstoff und Belastung sinkt die Vorspannkraft bzw. das -moment nach der Zeit t auf $F_V(t)$ bzw. $M_V(t)$ (Vorspannkraftverlust).

Die Änderung der Vorspannkraft bzw. des Vorspannmoments soll durch den statischen Vorspannkoeffizienten $S_V(t)$ beschrieben werden, der als der Quotient aus Vorspannkraft bzw. -moment zur Zeit t und der Vorspannkraft bzw. -moment unmittelbar nach dem Fügen der Verbindung definiert wird (Bild 3).

Während des Fügevorgangs bis zum gefügten Zustand ändert sich die Vorspannkraft $F_V(t)$ in der Verbindung. Der Quotient aus der max. Vorspannkraft $F_{V \max}$ zum Zeitpunkt $t=0$ im gefügten Zustand und dem Maximalwert der Vorspannkraft während des Fügevorganges wird als Vorspannkoeffizient S_V bezeichnet.

Anwendungen der Vorspannkoeffizienten beim einmaligen Fügen:

Der statische Vorspannkoeffizient $S_V(t)$ bietet die Möglichkeit, das Relaxationsverhalten /12/ verschiedener kraftschlüssiger Verbindungen quantitativ zu vergleichen. Der Koeffizient ist auf bestimmte Belastungszeiten bezogen und gibt das Verhältnis der beiden Zustände, und zwar des Anfangszustands zur Zeit $t=0$ und des Zustands zur Zeit $t=t_1$ an; t_1 ist eine beliebig wählbare Zeit. Der Verlauf der Änderung von Vorspannkraft bzw. -moment zwischenzeitlich kann im allgemeinen durch diesen Koeffizienten nicht beschrieben werden.

Bei einem Teil der Verbindungselemente, wie z. B. dem Spannverschluß, ist die Vorspannkraft während des Fügevorgangs oft erheblich höher als im gefügten Zustand. Damit die zulässigen Belastungen des Verbindungselements und der zu verbindenden Bauteile nicht überschritten werden, kann mit Hilfe des Vorspannkoeffizienten S_V eine maximal zulässige Vorspannkraft errechnet werden.

2.2 Das dynamische Füge/Löseverhalten

2.2.1 Definition und Anwendungen der dynamischen Füge-, Löse- und Vorspannkoeffizienten

Definition der dynamischen Füge-, Löse- und Vorspannkoeffizienten:

Während des wiederholten Fügens und Trennens von lösbaaren kraftschlüssigen Verbindungen ändern sich die jeweiligen Vorspann-, Füge- und Lösekräfte bzw. -momente in Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen und den Fügezyklen. In lösbaaren formschlüssigen Verbindungen ändern sich die Füge- und Lösekräfte bzw. -momente

beim wiederholten Fügen und Lösen. Um die Änderungen der Füge-, Löse- und Vorspannkkräfte für verschiedene Verbindungen einfach beschreiben und vergleichen zu können, werden drei Koeffizienten definiert:

a) der dynamische Vorspannkoeffizient als Quotient aus der Vorspannkraft bzw. dem -moment nach n Fügezyklen und nach dem ersten Fügen,

b) der dynamische Fügekoeffizient als Quotient aus der maximalen Fugekraft bzw. dem -moment nach n Fügezyklen und während des ersten Fügevorgangs,

c) der dynamische Lösekoeffizient als Quotient aus der maximalen Lösekraft bzw. dem -moment während des n-ten Lösevorgangs und derjenigen Kraft bzw. demjenigen Moment beim ersten Lösevorgang.

Anwendungen der Füge-, Löse- und Vorspannkoeffizienten:

Alle drei Koeffizienten können zum Abschätzen des Füge- und Löseverhaltens auch für andere Anfangsbedingungen und Zyklen, bei denen diese ermittelt wurden, hilfreich sein. Der Verlauf der Kräfte bzw. Momente zwischen dem ersten und dem n-ten Zyklus wird von den Quotienten nicht beschrieben.

2.3 Allgemeine Betrachtungen zur experimentellen und analytischen Bestimmung der definierten Wirkungsgrade und Koeffizienten

Um die definierten Auswahlkenngrößen, die Wirkungsgrade und die Koeffizienten für unterschiedliche Verbindungen quantitativ bestimmen zu können, müssen geeignete Verfahren entwickelt werden. Im folgenden werden Prüfverfahren und -bedingungen zur experimentellen und analytischen Bestimmung der neu definierten Aus-

wahlkenngrößen vorgeschlagen. Für sieben der in das Versuchsprogramm aufgenommenen Verbindungsprinzipien wurden Prüfvorrichtungen zur Durchführung von statischen und dynamischen Füge/Löseversuchen konzipiert, die in den Bildern 5a - g in Form von Prinzipskizzen dargestellt sind. Für fünf der Prüfvorrichtungen sind detaillierte Konstruktionsunterlagen erstellt worden. /2, 58, 41/. Von diesen wurde eine Füge/Lösevorrichtung für Spannverschlüsse und eine für Schrauben mit Muttern, die in den Kapiteln 3.3.5 und 3.3.6 beschrieben sind, gefertigt.

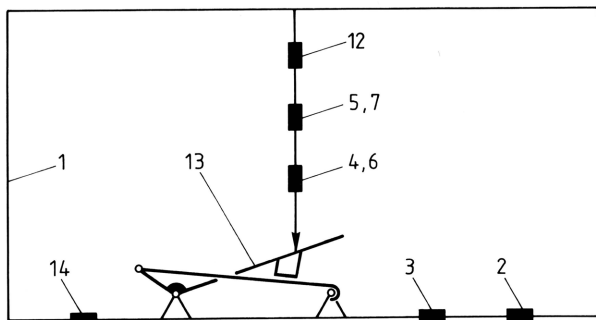
Zur Messung von Kräften, Momenten und Wegen, mit denen der Füge- und Lösewirkungsgrad, der Vorspannkoeffizient und die dynamischen Füge-, Löse- und Vorspannkoeffizienten bestimmt werden können, sind entsprechend der Prinzipskizzen in den Bildern 5a - g Meßdosen vorzusehen. Da die dynamischen Versuche oft bis zu mehreren tausend Fügezyklen durchgeführt werden, sollte ein geeigneter Antrieb mit Steuerung vorgesehen werden. Der Einfluß der Anschlußkonstruktion, wie die Steifigkeit, kann durch variable Federpakete berücksichtigt werden.

Je nach den zur Verfügung stehenden Meß-, Verarbeitungs- und Aufzeichnungsgeräten, können die Arbeiten, Energien und Kräfte bzw. Momente ermittelt werden, mit denen dann die jeweiligen Wirkungsgrade und Koeffizienten errechnet werden.

Eine Möglichkeit, die auch bei den Untersuchungen in dieser Arbeit Anwendung fand, ist es, die Analogsignale direkt mit Hilfe von XY- bzw. XT-Schreibern aufzutragen und graphisch auszuwerten.

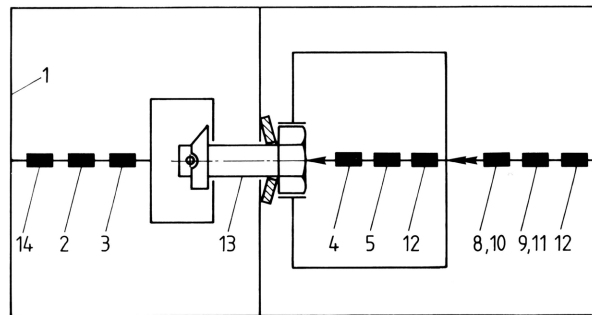
Bildunterschrift zu nachfolgenden Bildern

Bild 5a - g: Prüfvorrichtungen für verschiedene Verbindungselemente zur Durchführung von statischen bzw. dynamischen Füge/Löseversuchen (Prinzipskizzen)



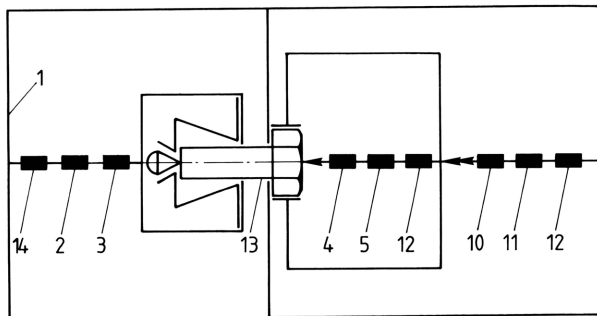
Füge/Löse-Vorrichtung für Spannverschlüsse

Bild 5a:



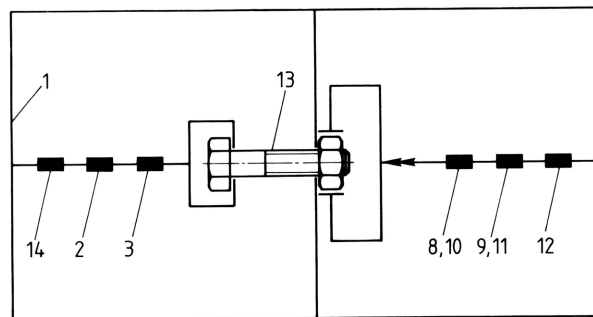
Füge/Löse - Vorrichtung für $1/4$ Drehverschlüsse

Bild 5b:



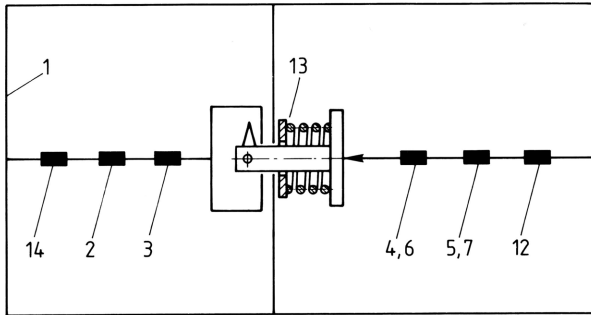
Füge/Löse - Vorrichtung für Druck-Drehverschlüsse

Bild 5c:



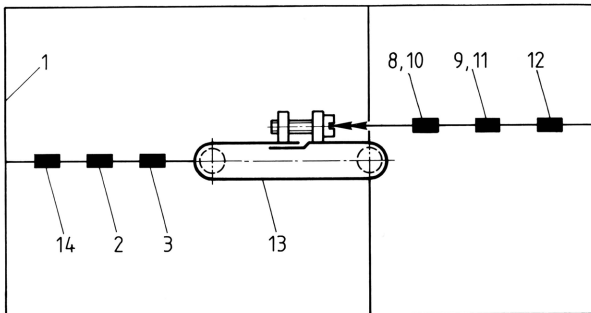
Füge/Löse-Vorrichtung für Schrauben/Muttern

Bild 5d:



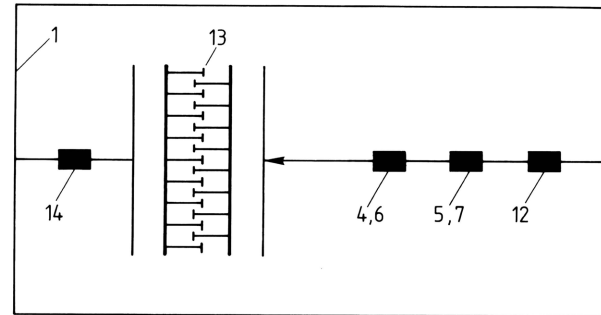
Füge/Löse-Vorrichtung für Druck - Druckverschlüsse

Bild 5e:



Füge/Löse-Vorrichtung Band mit Schloß

Bild 5g:



Füge/Löse - Vorrichtung für Klebverschlüsse

Bild 5f:

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1 - Rahmen | 8 - Meßdose-Fügemoment |
| 2 - Meßdose-Vorspannkraft | 9 - Meßdose-Fügewinkel |
| 3 - Meßdose-Vorspannweg | 10 - Meßdose-Lösemoment |
| 4 - Meßdose-Fügekraft | 11 - Meßdose-Lösewinkel |
| 5 - Meßdose-Fügeweg | 12 - Antrieb |
| 6 - Meßdose-Lösekraft | 13 - Probe |
| 7 - Meßdose-Löseweg | 14 - Feder |

Die Füge- und Lösearbeit A_F und A_L läßt sich mit Hilfe eines Kraft-Weg- bzw. Moment-Winkel-Diagrammes, das beim Fügen und Lösen der Verbindung in der jeweiligen Vorrichtung aufgezeichnet wird, graphisch als eingeschlossene Fläche unter den Kurven bestimmen (siehe Bild 6a, b), die mit einem XY-Schreiber aufgezeichnet wurden. Aus diesen Diagrammen lassen sich auch die Maximalwerte und die Werte der Vorspannkraft bzw. des -momentes im gefügten Zustand entnehmen, mit denen dann der Vorspannkoeffizient errechnet werden kann.

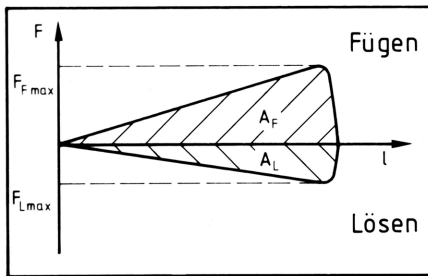


Bild 6a:

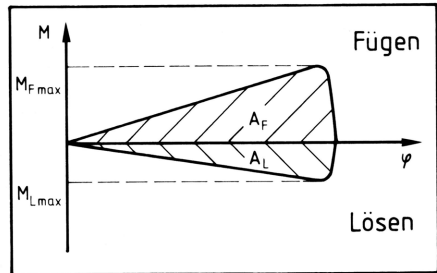


Bild 6b:

Bild 6a, b: Graphische Darstellung der Fügearbeit A_F und Lösearbeit A_L im
a) Kraft-Längungsdiagramm und im
b) Momenten-Verdrehwinkeldiagramm

Die gespeicherte Energie E_S wird durch das Entlasten der Verbindung im gefügten Zustand ermittelt. Hierbei werden die Aufnahmeplatten der Probe aufeinander zubewegt. Die Vorspannkraft-Abnahme kann über den Weg der relativen Verschiebung der Aufnahmeplatten zueinander, in Form eines Kraft-Weg-Diagrammes mit einem XY-Schreiber aufgezeichnet werden (siehe Bild 7a, b). Die von der Kurve und den Koordinatenachsen eingeschlossene Fläche entspricht der ursprünglich in der Verbindung gespeicherten Energie E_S .

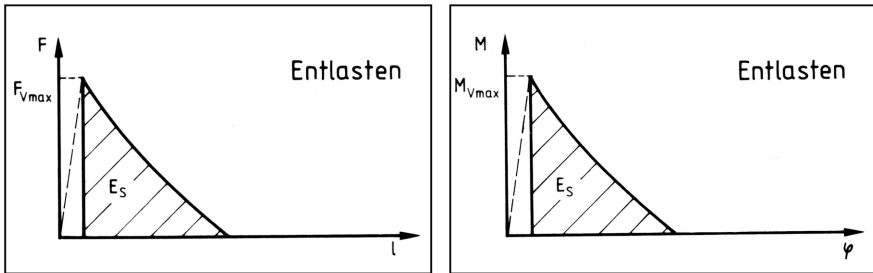


Bild 7a:

Bild 7b:

Bild 7a, b: Graphische Darstellung der gespeicherten Energie E_S im a) Kraft-Längungsdiagramm und im b) Momenten-Verdrehwinkeldiagramm

Bei den dynamischen Versuchen werden Füge/Lösevorgänge mehrmals wiederholt und die Kraft- bzw. Momentenverläufe in Abhängigkeit von den Fügezyklen mit einem XT-Schreiber aufgezeichnet. Aus den Kurvenverläufen sind dann die Werte für Maximalkräfte bzw. -momente beim Fügen und Lösen und die Kräfte bzw. Momente im gefügten Zustand nach unterschiedlichen Fügezyklen n zu entnehmen, mit denen dann die dynamischen Füge-, Löse- und Vorspannkoeffizienten errechnet werden können.

Das Verhalten beim Zerstören des Verbindungselementes durch Überschreiten der Zugfestigkeit, das von dem Zerstörungswirkungsgrad beschrieben wird, kann im Zugversuch experimentell ermittelt werden. Aus dem dabei mit einem XY-Schreiber aufgezeichneten Kraft-Längungsdiagramm wird die Energie $E_{0,2}$ bestimmt, die von der Verbindung bis zur Längenänderung von 0,2 % durch elastische Verformung aufgenommen werden konnte (Bild 8a, b). Die Gesamtfläche unter der Kurve bis zum Versagen der Probe entspricht dann der notwendigen Zerstörarbeit A_Z . Die sogenannten Zerstörversuche (Zugversuche) können mit Hilfe handelsüblicher Zugprüfmaschinen durchgeführt werden.

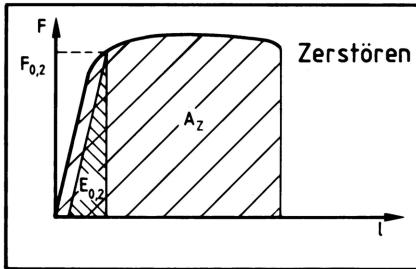


Bild 8a:

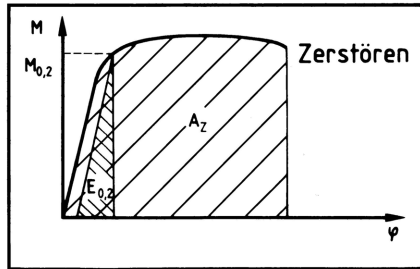


Bild 8b:

Bild 8: Graphische Darstellung der speicherbaren Energie $E_{0,2}$ und der Zerstörarbeit A_Z im
a) Kraft-Längungsdiagramm und im
b) Momenten-Verdrehwinkeldiagramm

Die Zahlenwerte für den statischen Vorspannkoeffizienten können auch mit Hilfe einer Zugprüfmaschine mit geeigneter Probenaufnahme ermittelt werden. Nach dem Auseinanderziehen des Verbindungselementes bis zu einer bestimmten Vorspannkraft F_V ($t=0$) wird die Abnahme der Vorspannkraft über die Zeit von einem XT-Schreiber aufgezeichnet. Nach dem Versuch sind dem Kraft-Zeit-Diagramm die Vorspannkraften zu verschiedenen Zeiten zu entnehmen und der statische Vorspannkoeffizient $S_V(t)$ aus den Werten zu errechnen.

3 Experimentelle und analytische Bestimmung von Kenngrößen für eine Auswahl verschiedener handels- üblicher und neuentwickelter lösbarer Verbindungen

3.1 Probenauswahl und Versuchsprogramm

Aus /1/ wurden zunächst die verschiedenen handelsüblichen Verbindungen nach ihrer Funktion und Einsatzmöglichkeit im Maschinenbau beurteilt und verglichen. In das Versuchsprogramm zur Untersuchung des Füge- und Trennverhaltens und der Tragfähigkeit von lösbaren Verbindungen dann wurden acht Prinzipvarianten dieser Verbindungselemente aufgenommen:

Der Spannverschluß, der 1/4-Drehverschluß, der Druck-Drehverschluß, die Schraube mit Mutter, der Druck-Druckverschluß, das Band mit Schloß, der Klettverschluß und die Schnappverbindung* (Bild 9). Für diese erschienen aufgrund angeführter Funktionsbeschreibung und Festigkeitsangaben weitere Untersuchungen sinnvoll.

In einfachen Vorversuchen, wie das Fügen und Lösen von Hand, zeichnete sich ein Teil der Verbindungselemente dadurch aus, daß sie mit geringem Kraftaufwand gefügt und gelöst werden konnten. Für einige der Verbindungen sind Verfahren vorstellbar oder bekannt, bei denen durch Zerstören des Verbindungselementes die Verbindung mit geringem Arbeitsaufwand getrennt werden könnten.

Als Realisierungen für die acht Prinzipvarianten wurden verschiedene handelsübliche und eigenentwickelte Verbindungselemente ausgewählt. In Bild 10 sind die Gestaltvarianten und die durchgeführten Versuche aufgelistet.

*Untersuchung der Schnappverbindung nach /8, 38/

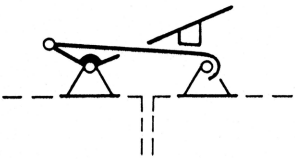
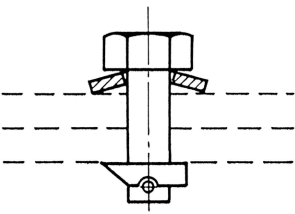
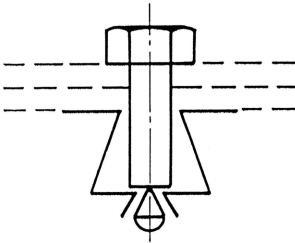
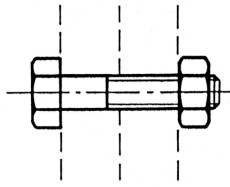
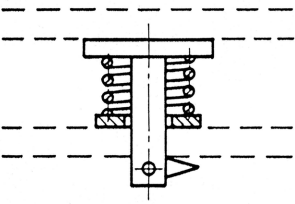
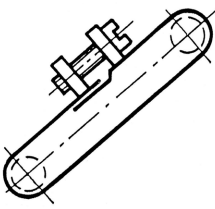
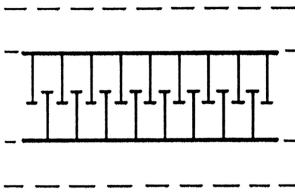
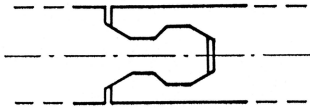
 <p>Spannverschluss</p>	 <p>1/4-Drehverschluss</p>	 <p>Druck-Drehverschluss</p>	 <p>Schraube/Mutter</p>
 <p>Druck-Druckverschluss</p>	 <p>Band mit Schloß</p>	 <p>Klettverschluss</p>	 <p>Formschlüssige Schnappverbindung</p>

Bild 9: Verbindungsprinzipien zum Versuchsprogramm "Untersuchung der Tragfähigkeit und des Füge- und Trennverhaltens von lösaren Verbindungen" /8/

Proben				Lfd Nr.	Versuchsprogramm						
Name	Firma	Werkstoff	Bezeichnung		001	002	007	006	008	009	012
Spannverschluß	Camloc	Stahl	004	1	●	●			●	●	●
	Camloc		011	2	●	●			●	●	●
	Camloc		012	3	●	●			●	●	●
	Camloc/ Eigenbau		013	4	●	●			●	●	●
$\frac{1}{4}$ Drehverschluß	Camloc	Stahl/ Kunststoff	026	5	●	●					
DruckDruckverschluß	Dzus Fasteners		019	6	●	●					
	Southco Fasteners		024	7	●	●					
Druck-Drehverschluß	VVG	Stahl	020	8	●	●					
Band mit Schloß	Oetiker		018	9	●	●					
	Geml		023	10	●	●					
Klettverschluß	3 M	Kunststoff	021	11	●		●				
	3 M		022	12	●	●	●	●			
Schraube/Mutter	Werit	PA 6.6/ PA 6.6	014	13	●	●	●	●			●
	Oechsler	PA 6.6 GF/ PA 6.6 GF	007	14	●		●	●			
	Prof. Ehrenstein	PE / PA 6.6	025	15	●		●	●			
	Boesner	Stahl	027	16	●				●		●

Bild 10: Versuchsprogramm und Proben zur Bestimmung der Tragfähigkeit und des Füge/Trenn-
verhaltens verschiedener Verbindungselemente

In Zugversuchen, Dauerschwingversuchen, Spannungsrelaxationsversuchen, Zeitstandversuchen wurde das statische und dynamische Tragverhalten der Verbindungselemente bei Kurz- und Langzeitbelastung bestimmt. Hierbei sollte geklärt werden, ob die ausgewählten und neuentwickelten Gestaltvarianten von lösbaren Verbindungen Tragfähigkeiten besitzen, die auch einen Einsatz bei den hohen Belastungen des Maschinenbaus ermöglichen. Hierzu gehörten dann auch die Untersuchungen des Relaxations- und Kriechverhaltens der Verbindungselemente aus Kunststoff.

Die untersuchten Spannverschlüsse und Schrauben mit Muttern wiesen sich u. a. durch gutes Tragverhalten bei günstigem Füge/Löseverhalten aus. Um das Füge- und Trennverhalten für diese beiden Verbindungselemente quantitativ zu ermitteln, wurden dann quasistatische und dynamische Füge/Löseversuche durchgeführt. Mit Hilfe der Versuchsergebnisse könnten die in Kap. 2 definierten Wirkungsgrade und Koeffizienten für die untersuchten Spannverschlüsse und Schrauben mit Muttern errechnet werden.

Kodierung von Proben, Versuchen, Diagrammen und Probenbrüchen:

Alle Proben, Versuche, Diagramme und Probenbrüche sind mit einem Zahlencode versehen worden, der aus maximal drei mal drei Ziffern besteht. Die ersten drei Ziffern geben den durchgeführten Versuch an, die zweiten drei Ziffern bezeichnen den Probentyp und die letzten drei Ziffern kennzeichnen fortlaufend die jeweiligen Proben einer Versuchsreihe. Sind nur drei Ziffern angegeben, bezeichnen diese entweder einen Probentyp oder einen bestimmten Versuch. Die Zuordnung zwischen Versuch, Probe und Zahlenschlüssel sind dem Bild 10 zu entnehmen.

3.2 Beschreibung der Proben

3.2.1 Der Spannverschluß

Spannverschlüsse werden als Deckelverschluß, Schlauchschellenbefestigung oder Rohrverbinder eingesetzt. Ihre relative Häufigkeit im Maschinenbau (Kraftfahrzeugbau) beträgt 0,5 %, in feinerwerktechnischen Geräten wird der Spannverschluß (Klemmbügel) bei 1,8 % der Verbindungsfälle verwendet (Bild 2) /55/.

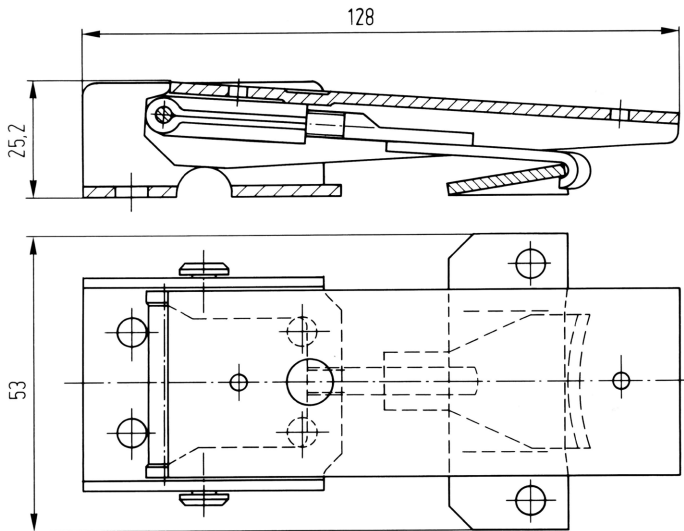


Bild 11a: Spannverschluß (Probe 004) - Werkstoff: Stahl

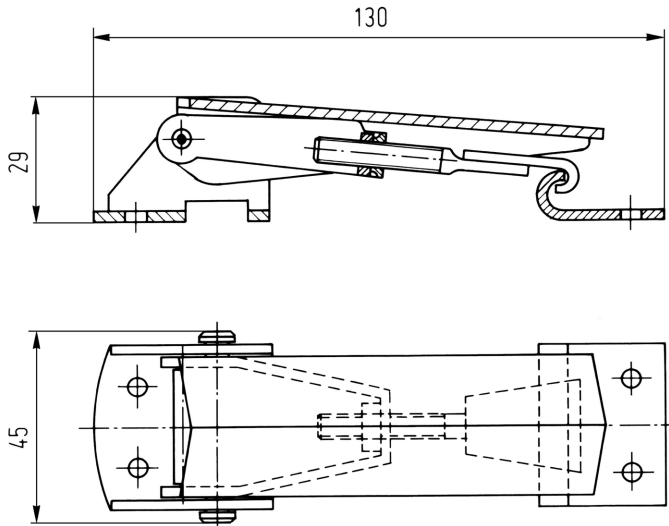


Bild 11b: Spannverschluß (Probe 011) - Werkstoff: Stahl

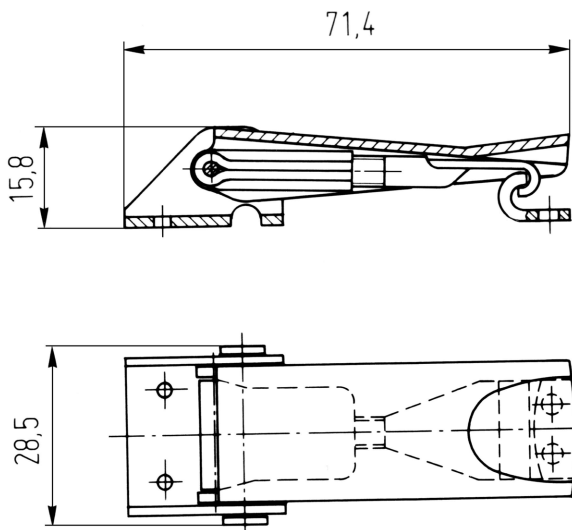


Bild 11c: Spannverschluß (Probe 012) - Werkstoff: Stahl

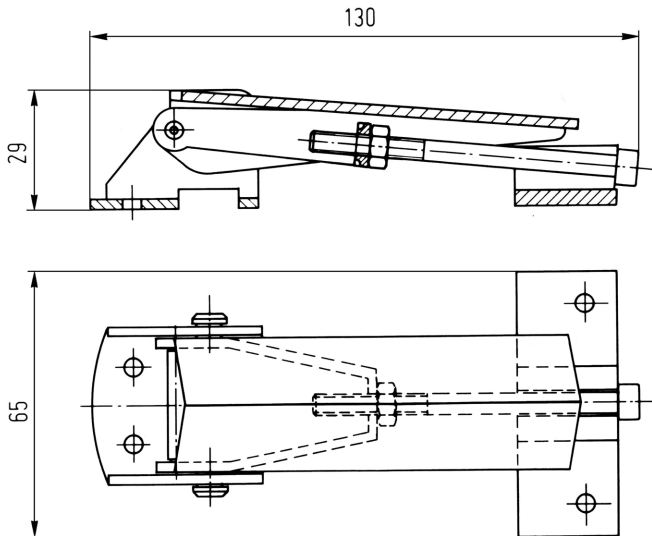


Bild 11d: Spannverschluß (Probe 013) - Werkstoff: Stahl

Bild 11a - d: Untersuchte Spannverschlüsse

Der Spannverschluß nach DIN 3132, 3133, 3134 /19, 20, 21/ besteht aus dem Verschluß und dem Schließhaken. Durch Schwenken des Verschlußhebels über den sogenannten Totpunkt läßt sich der Verschluß einfach fügen und auch wieder lösen.

Der Spannverschluß gehört zu den kraftschlüssigen Verbindungselementen. Im gefügten Zustand wird die Anschlußkonstruktion sowohl durch eine Vorspannkraft als auch durch ein Vorspannmoment belastet (Bild 12). Vier verschiedene Spannverschlüsse wurden in das Versuchsprogramm aufgenommen. Drei der Verschlüsse, Probe 004, 011, 012 (Bild 11a, b, c) sind handelsüblich /15/.

Die Probe 013 (Bild 11d) wurde nach den Grundsätzen des beanspruchungsgerechten Konstruierens, wie z. B. direkter Kraftfluß, aus der Probe 011 weiterentwickelt. Die Gewindestange mit Klaue ist durch eine Schraube M 8 x 70 DIN 912 ersetzt worden. Der Schließhaken wurde mit einer Gabel ausgetauscht /9/.

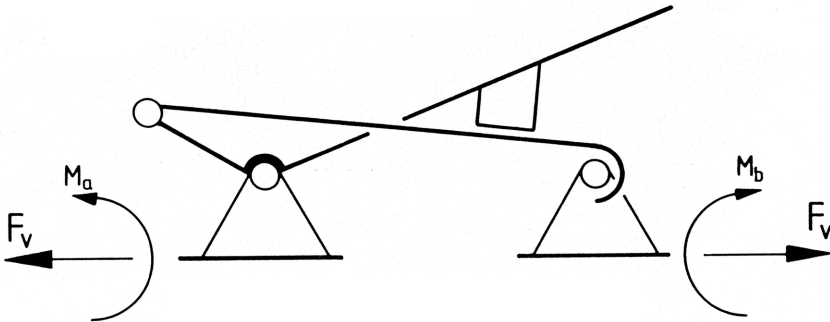


Bild 12: Prinzipskizze eines Spannverschlusses im gefügten Zustand mit der Reaktionsbelastung auf die Anschlußkonstruktion

Das Einstellen und Nachstellen der Vorspannkraft ist bei diesen Spannverschlüssen entweder durch Ausrichten des Verschlusses mit Schließhaken auf der Anschlußkonstruktion oder durch Verdrehen der Halteklau (Probe 004, 011, 012) oder der Schraube (Probe 013) möglich.

3.2.2 Der 1/4-Drehverschluß

Der 1/4-Drehverschluß /15/ (Bild 13) wird z. B. als Deckelverschluß verwendet. Er muß durch beide zu verbindenden Bauteile durchgesteckt werden. Durch eine 90°-Drehung wird der Verschluß gefügt bzw. gelöst. Hierfür ist bei der ausgesuchten Gestaltvariante ein Werkzeug notwendig (Maulschlüssel oder Schraubendreher). An andere Varianten ist ein Handgriff oder Hebel in das Verbindungselement integriert.

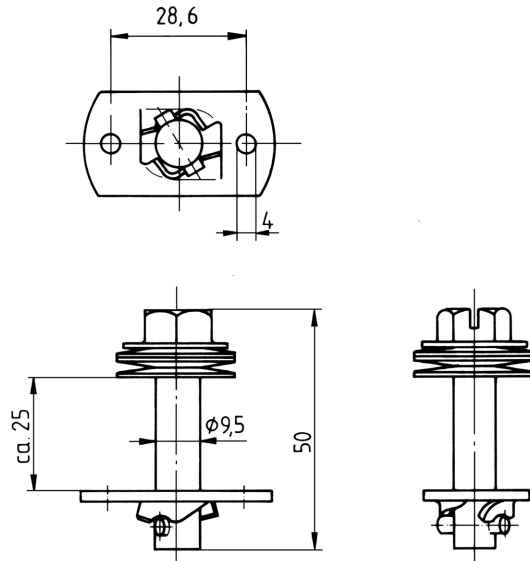


Bild 13: Untersucher 1/4-Drehverschluß (Probe 026) -
Werkstoff: Stahl

Bei dem untersuchten 1/4-Drehverschluß steigt die Vorspannkraft beim Fügen zunächst an und verringert sich wieder beim Einrasten des Querriegels im Haltenocken. Die maximale Vorspannkraft $F_V \text{ max}$ kann dann nicht größer sein als die Maximalkraft der Tellerfedern im zusammengedrückten Zustand. Diese Kraft beträgt nach DIN 2092 errechnet 477 N für die untersuchte Baugröße.

3.2.3 Der Druck-Druckverschluß

Die Druck-Druckverschlüsse (Bild 14a, b) lassen sich durch eine Druckbewegung in axialer Richtung fügen bzw. lösen. Bei den zwei untersuchten Gestaltvarianten wird das Verbindungselement mit dem einen Bauteil verklebt oder verschraubt. Durch das zweite

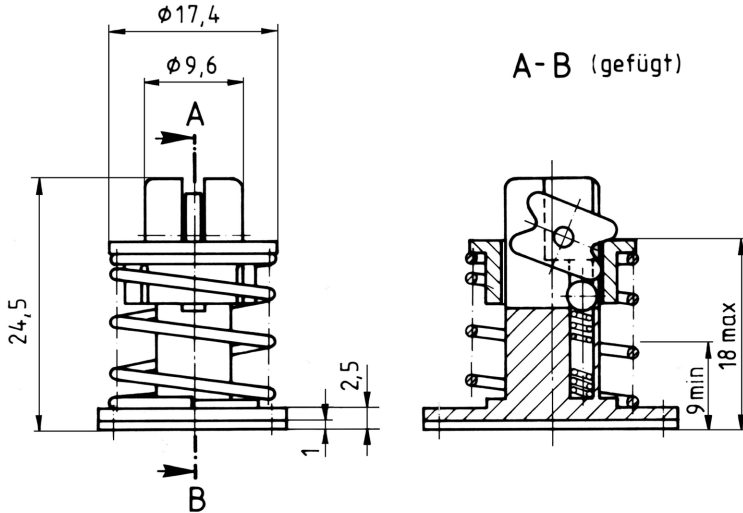


Bild 14a: Druck-Drehverschluß (Probe 019) -
Werkstoff: Stahl

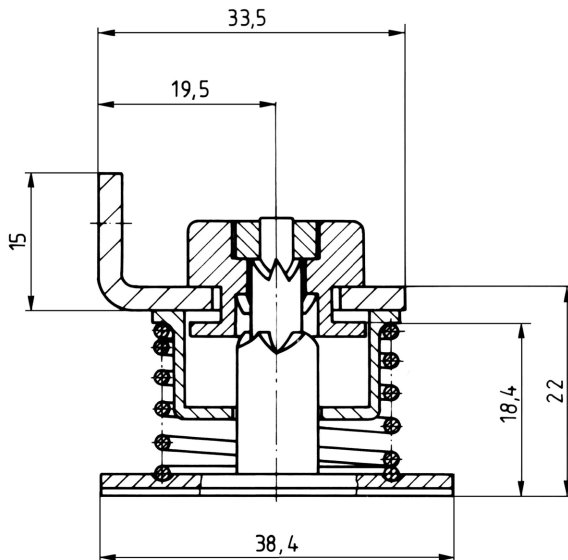


Bild 14b: Druck-Druckverschluß (Probe 014) -
Werkstoff: Stahl/Kunststoff

Bild 14a, b: Untersuchte Druck-Druckverschlüsse

Bauteil muß das Element durch ein Loch (Probe 019) /31/ oder ein Langloch (Probe 024) /62/ beim Fügen unter leichtem Druck durchgesteckt werden. Bei der Probe (019) wird dabei ein Riegel verdreht, der dann einen Formschluß bzw. bei vorgespannter Feder einen Kraftschluß zwischen den Bauteilen realisiert. Bei der Probe 024 wird ein Riegel durch einen Mechanismus analog dem "Kugelschreiberprinzip" verdreht, der dann ebenfalls einen Form- bzw. Kraftschluß herstellt.

Die Druckverschlüsse werden als Deckelverschlüsse in der Elektroindustrie und der Möbelindustrie verwendet. Werkzeuge zum Fügen und Lösen der Verbindung sind nicht notwendig.

3.2.4 Der Druck-Drehverschluß

Auch der Druck-Drehverschluß /66/ (Bild 15) findet als Deckelverschluß Anwendung. Beim Fügen muß ein Bolzen durch beide zu verbindenden Bauteile durchgesteckt werden.

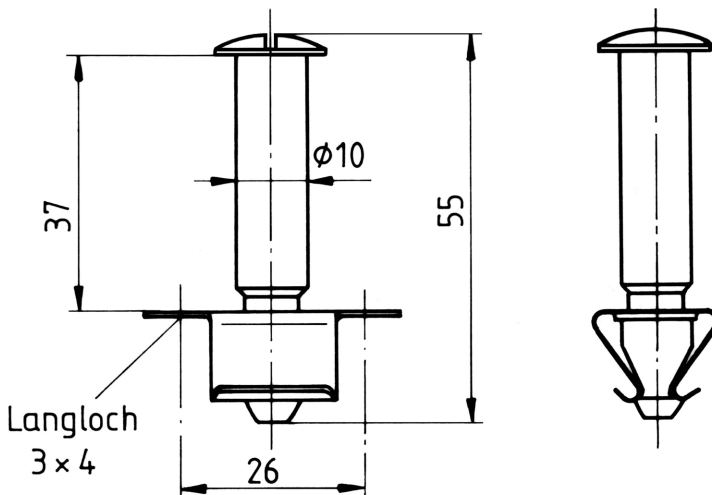


Bild 15: Untersuchter Druck-Drehverschlusses (Probe 020) -
Werkstoff: Stahl

Dabei spreizt der Bolzen ein Biegefederpaar (Federclip). Im gefügten Zustand umschließen die Biegefederpaare den Bolzen formschlüssig.

Durch eine 90°-Drehung des Bolzens wird das Biegefederpaar gespreizt und die formschlüssige Verbindung gelöst.

Bei den hier untersuchten Gestaltvarianten eines Druck-Drehverschlusses ist zum Lösen der Verbindung ein Schraubendreher notwendig. Das Fügen bei allen Druck-Drehverschlüssen erfolgt ohne Werkzeug durch eine Druckbewegung auf den Bolzen in axialer Richtung.

3.2.5 Das Band mit Schloß

Das Band mit Schloß (Bild 16a ,b) umschlingt im gefügten Zustand die zu verbindenden Bauteile. Zum Fügen und Lösen der hier untersuchten Stahlbänder mit Schloß, Probe 023 /35/ und Probe 018 /46/ ist ein Schraubendreher notwendig, mit dem eine im sogenannten Schloß befindliche Schraube mehrmals verdreht wird. In anderen handelsüblichen Stahlbändern mit Schloß sind Hebel oder Drehgriffe integriert, durch die das Verbindungselement auch ohne Werkzeug von Hand gefügt und gelöst werden kann.

Das Stahlband mit Schloß eignet sich auch zum Trennen durch Zerstören des Verbindungselementes. Hierfür sind Werkzeuge notwendig, wie ein sogenannter Stahlbandschneider /34/ (Bild 4a), mit dem das Band im gefügten Zustand durchgeschnitten werden kann. Stahlbänder mit Schloß finden u. a. Anwendung als Schlauchverbinder und Befestigungselement für Aggregate in der Automobil- und Weißwarenindustrie.

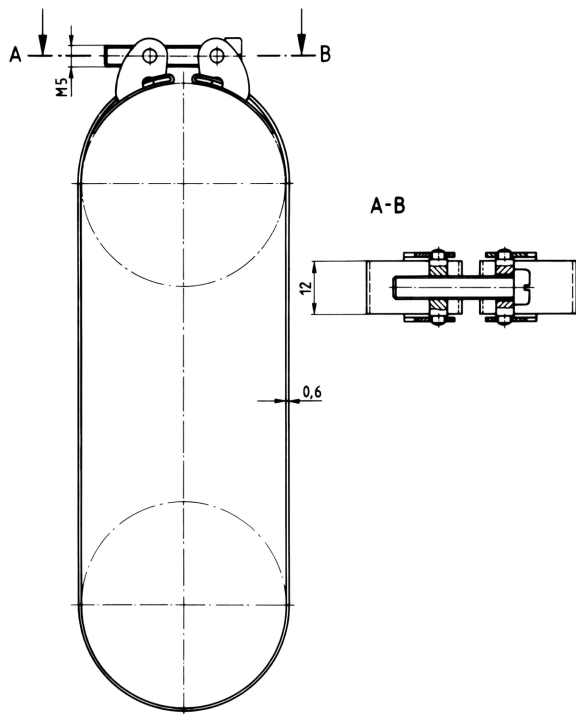


Bild 16a: Band mit Schloß (Probe 023) -
Werkstoff: Stahl

Bild 16a, b: Untersuchte Bänder mit Schloß

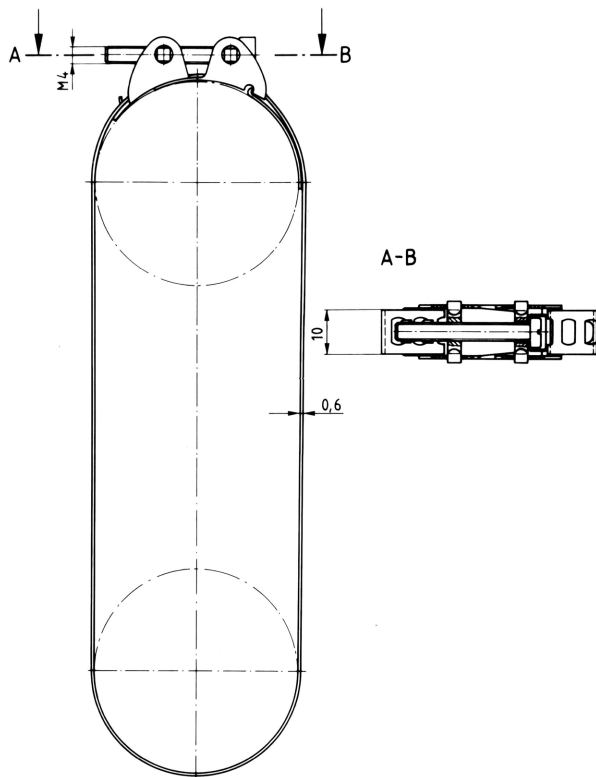


Bild 16b: Band mit Schloß (Probe 018) -
Werkstoff: Stahl

3.2.6 Der Klettverschluß

Klettverschlüsse (Bild 17a, b)) werden hauptsächlich in der Bekleidungsindustrie als Verschlüsselement verwendet. Die Verbindungselemente selbst, flächenhaft verteilte formschlüssige Elemente, werden entweder in die zu verbindenden Teile integriert (Integralbauweise) /47/ oder mit den Bauteilen z. B. vernäht oder verklebt.

Zum Fügen der Verbindung werden die Flächen des zweiteiligen Verbindungselementes unter Druck miteinander verbunden. Das Lösen der Verbindung ist durch eine Schälbewegung einfach möglich. Mit dem Klettverschluß können formschlüssige Verbindungen hergestellt werden.

3.2.7 Die Schraube mit Mutter

Verschraubungen werden im Maschinenbau (Kraftfahrzeugbau) zu 68,0 % und in feinwerktechnischen Geräten zu 41,9 % verwendet (Bild 2) /55/. Schrauben und Muttern aus Kunststoff finden Verwendung in der Elektrotechnik, dem Fahrzeug- und Apparatebau, der chemischen Industrie, im Bauwesen, in der Luftfahrt und der Sportgerätefertigung.

Schrauben mit Muttern lassen sich im allgemeinen nur mit Werkzeugen fügen und lösen. Um in der kraftschlüssigen Verbindung die Vorspannkraft einzustellen bzw. nachzustellen, müssen Schraube und Mutter entsprechend zueinander verdreht werden.

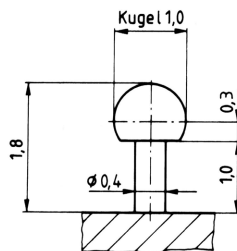
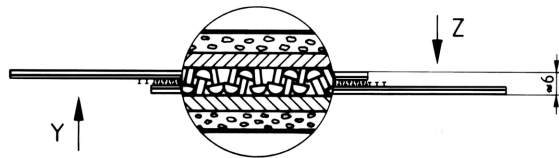
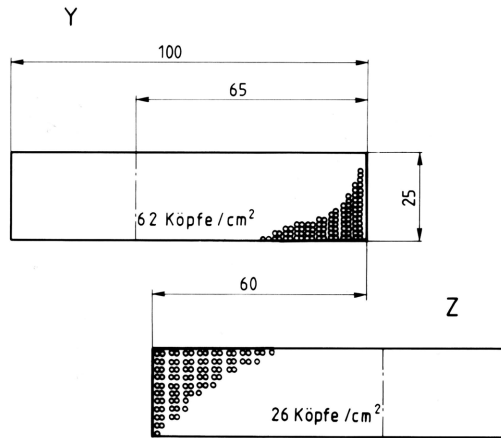


Bild 17a: Klettverschluß (Probe 021) - Werkstoff: Kunststoff

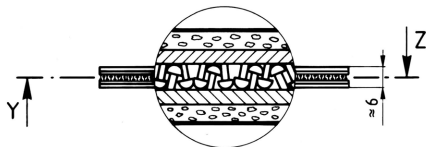
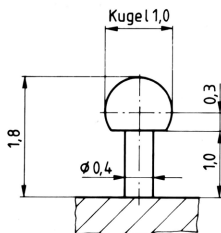
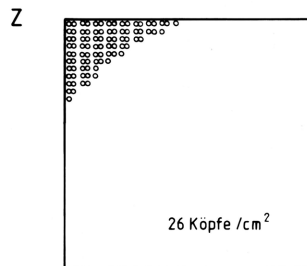
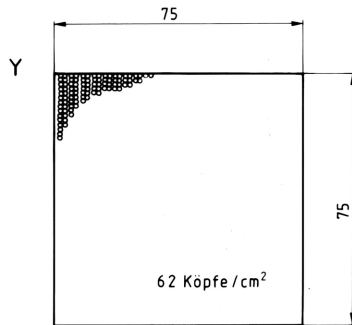


Bild 17b: Klettverschluß (Probe 022) - Werkstoff: Kunststoff

Bild 17a, b: Untersuchte Klettverschlüsse

Je nach Werkstoff sind besonders bei Kunststoffschrauben/-muttern Verfahren vorstellbar, bei denen die Verbindung nicht nur durch Überschreiten der zulässigen Zugkräfte mit geringem Energieaufwand zerstört wird, sondern auch durch thermische bzw. chemische Verfahren. Ein Werkzeug, das das Trennen von Schrauben/Muttern-Verbindungen durch Zerstören ermöglicht, ist der sogenannte Mutternsprenger /37/ (Bild 4b). Mit ihm können die Muttern im gefügten Zustand der Verbindung zerschnitten werden.

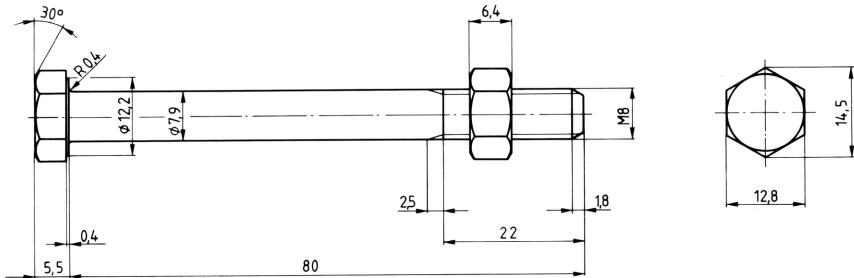


Bild 18a: Schraube/Mutter (Probe 014) - Werkstoff: PA 6.6/PA 6.6

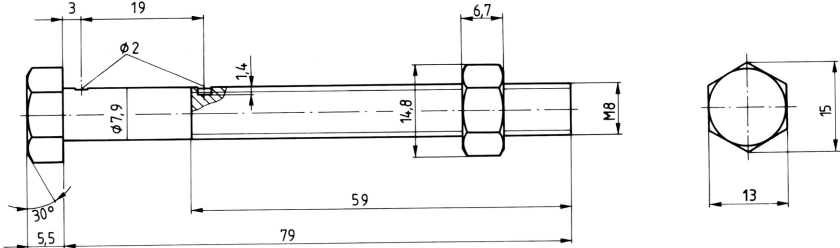


Bild 18b: Schraube/Mutter (Probe 007) -
Werkstoff: PA 6.6 GF/PA 6.6 GF

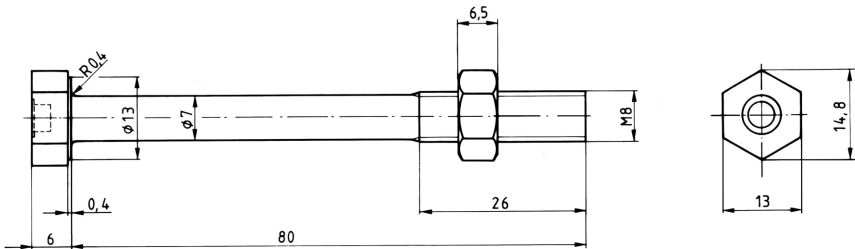


Bild 18c: Schraube/Mutter (Probe 025) - Werkstoff: PE/PA 6.6

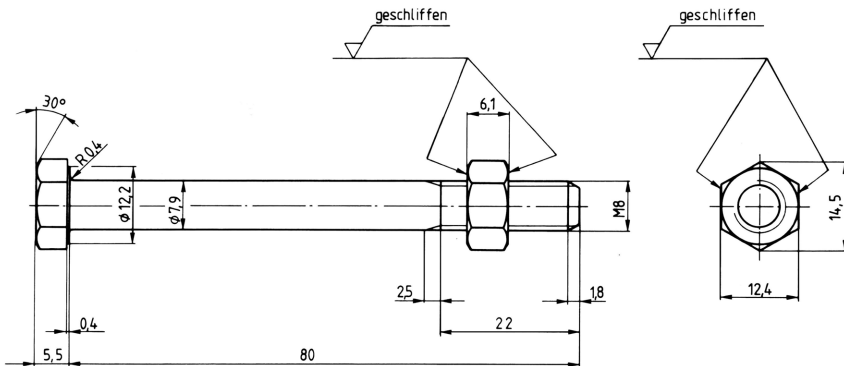


Bild 18d: Schraube/Mutter (Probe 027) - Werkstoff: Stahl/Stahl

Bild 18a - d: Untersuchte Schrauben/Muttern

3.3 Prüfstandbeschreibung und Versuchsdurchführung

3.3.1 Prüfstand-Zugversuch

Prüfstandbeschreibung

Der Versuchsaufbau besteht für alle Gestaltvarianten von Verbindungselementen aus einer Zugprüfmaschine mit integrierter Kraftmeßdose (Fa. Instron 1113) /41/, einer dynamischen Dehnungsmeßbrücke (Fa. Brandau DD 3) /51/, einem XY-Schreiber (Fa. HP) /39/ und einem induktiven Wegaufnehmer (Fa. Collins) /36/ mit Gleichspannungsquelle.

Die verschiedenen Probenaufnahmen wurden so gefertigt, daß sie möglichst bei allen durchzuführenden Versuchen verwendet werden konnten. Einige der Aufnahmeverrichtungen sind nach dem Baukastenprinzip /47/ gestaltet; durch Austausch von Elementen, wie bei den Probenaufnahmen für Bänder mit Schloß, Klettverschlüsse, Druck-Druck- und Druck-Drehverschlüsse, können verschiedene Pro-

ben eingespannt werden. In den Einspannvorrichtungen der Zugprüfmaschine konnten die Probenaufnahmen befestigt werden, die jeweils für die verschiedenen Verbindungselemente entwickelt wurden. Alle Aufnahmevorrichtungen simulieren eine steife Anschlußkonstruktion mit praxisähnlichen Belastungen für die Proben.

Die Probenaufnahme für Spannverschlüsse, die in Bild 19 dargestellt ist, fand Anwendung bei Zugversuchen, Dauerschwingversuchen, Füge/Löseversuchen und Nachstell- bzw. Einstellversuchen. Die Aufnahmeplatten sind durch drei Linear-Kugelführungen miteinander verbunden. Verschuß und Schließhaken können jeweils mit einer der beiden Aufnahmeplatten verschraubt werden. Die sich im gefügten Zustand einstellenden Vorspannmomente stützen sich dadurch direkt in der Probenaufnahme ab. Nur die Vorspannkraft wird von der Kraftmeßdose registriert.

Die 1/4-Drehverschlüsse sollten in axialer Richtung durch eine Zugkraft belastet werden. Hierfür wurde die in Bild 20 dargestellte Probenaufnahme verwendet, die sowohl bei den Zugversuchen als auch bei den Dauerschwingversuchen benutzt wurde. Der Haltenocken wird auf der einen Aufnahmeplatte ausgerichtet und dann verschraubt. Anschließend kann dann der Bolzen mit Querriegel durch beide Aufnahmeplatten durchgesteckt und die Verbindung gefügt werden.

Die Probenaufnahmen für Druck-Druckverschlüsse und Druck-Drehverschlüsse sind in den Bildern 21, 22 dargestellt. Zur Durchführung der Zugversuche und Dauerschwingversuche an Stahlbändern mit Schloß wurde eine Vorrichtung verwendet, bei der das Band um zwei Rundstähle geschlungen (Bild 23) und dann belastet wurde.

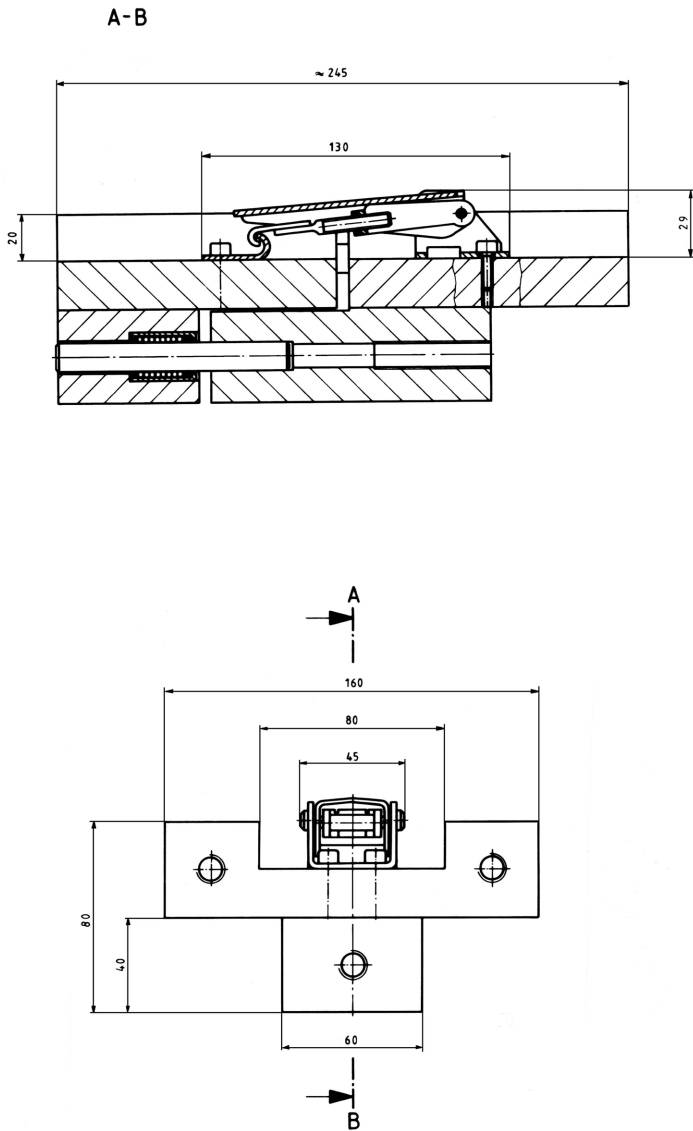


Bild 19: Probenaufnahme für Spannverschlüsse

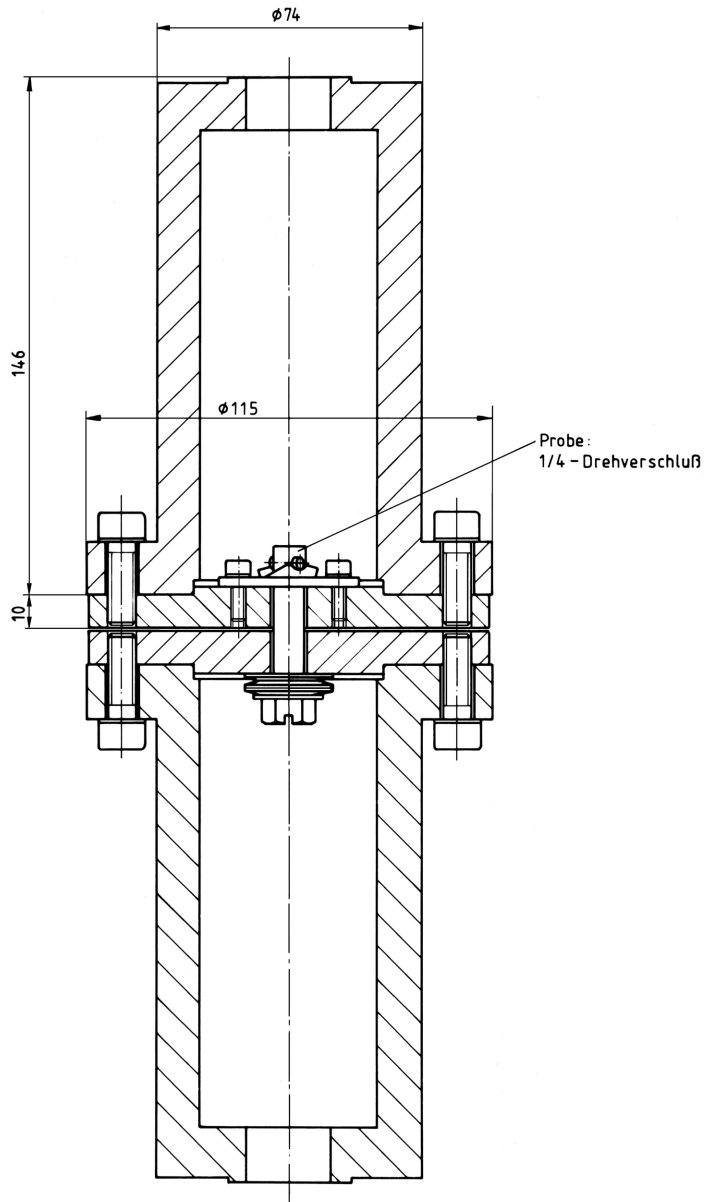


Bild 20: Probenaufnahme für 1/4-Drehverschlüsse

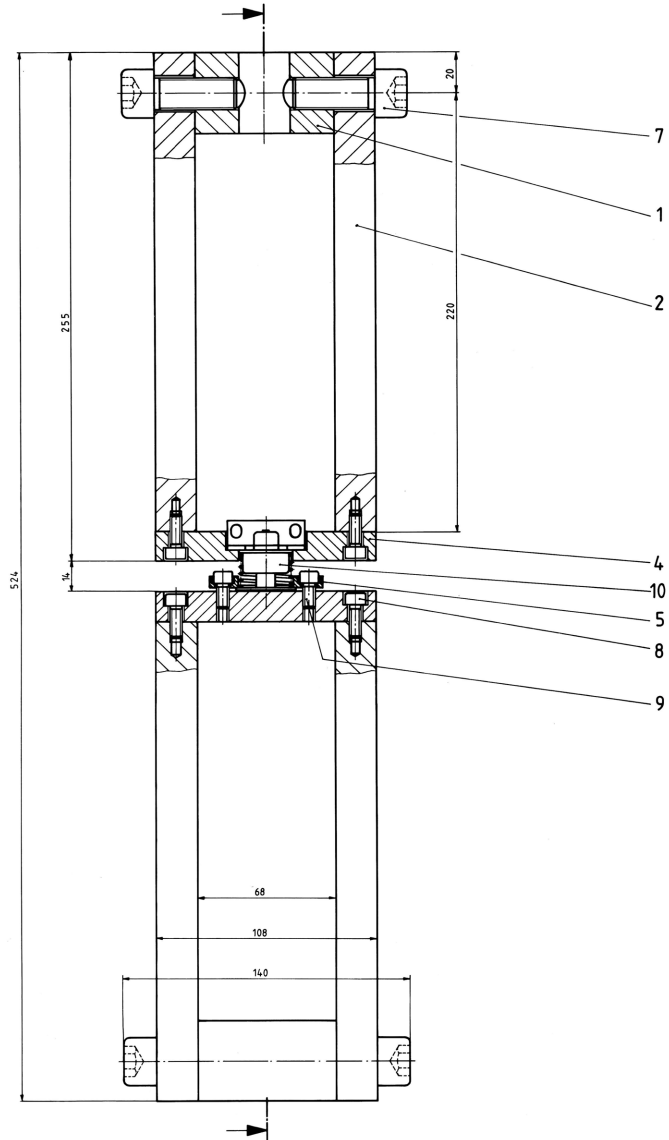


Bild 21: Probenaufnahme für Druck-Druckverschlüsse

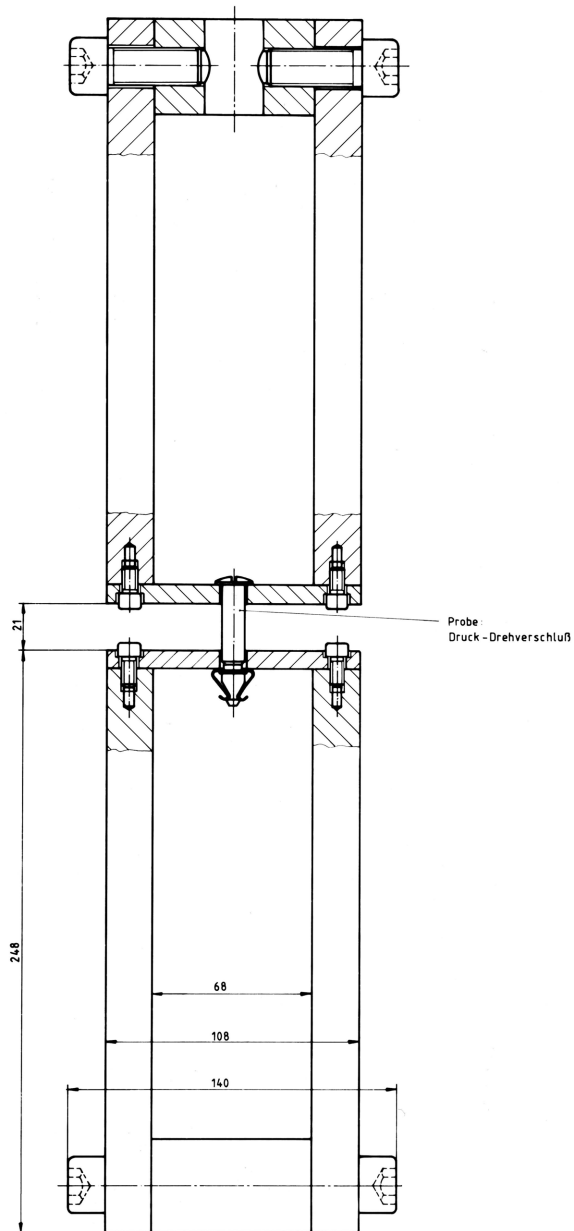


Bild 22: Probenaufnahme für Druck-Drehverschlüsse

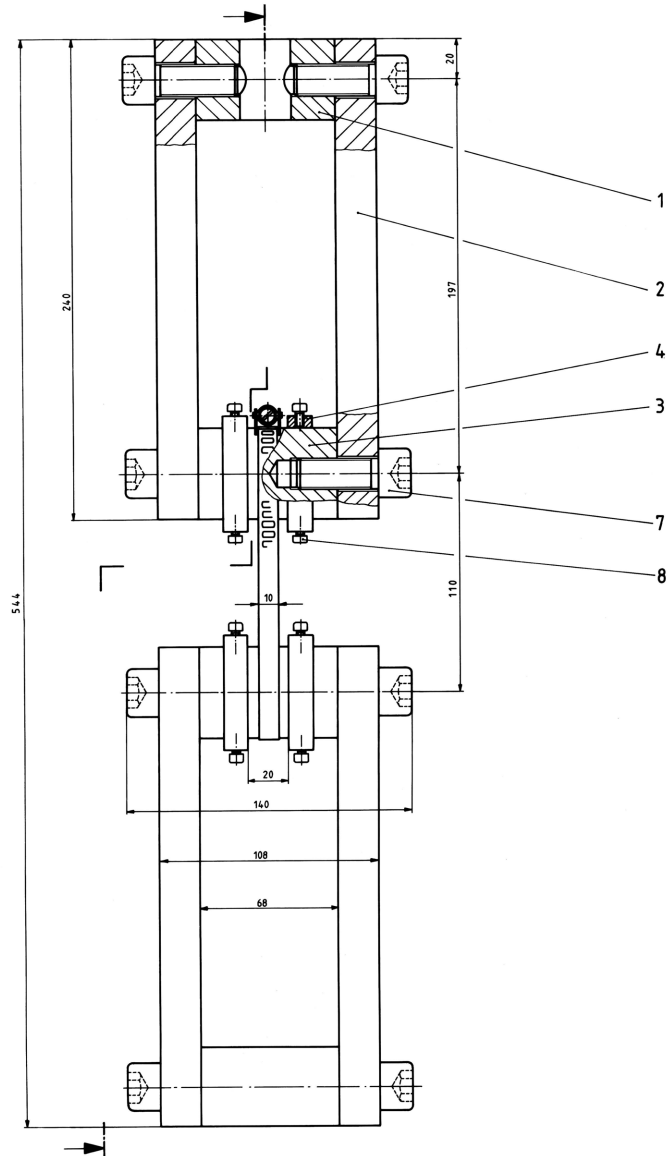


Bild 23: Probenaufnahme für Stahlbänder mit Schloß

Beim Zugversuch wurde der Klettverschluß Probe 021 im gefügten Zustand direkt in den Spannzangen der Zugprüfmaschine befestigt. Der Klettverschluß Probe 022 wurde zunächst auf Stahlplatten verklebt, die dann jeweils mit der Probenaufnahme (Bild 24) verschraubt wurde. Erst dann konnte die Verbindung durch Zusammenfahren der Probenaufnahmen gefügt werden.

Die Klemmlänge der Schrauben/Muttern betrug zu Beginn der Zugversuche, wie auch bei allen anderen Versuchen $L_k = 70 \text{ mm}$. In Bild 25 ist die Probenaufnahme zur Durchführung von Zugversuchen und Dauerschwingversuchen mit Schrauben/Muttern dargestellt.

Versuchsdurchführung

In Anlehnung an DIN 50145 /25/ und DIN 53455 /29/ wurden Zugversuche durchgeführt. Mit Hilfe von Eichgewichten ($10 \times 50 \text{ N}$) wurde die Kraftmeßkette und mit einer Meßuhr (Fa. Käfer) die Wegmeßkette kalibriert. Die Proben wurden zwischen Einspannköpfen befestigt und bei unterschiedlichen Abzugsgeschwindigkeiten bis zum Bruch belastet. Die Abzugsgeschwindigkeit für alle Proben betrug $V_1 = 5 \text{ mm/min}$. Für einen Teil der Schrauben/Muttern wurden zusätzlich Zugversuche mit $V_2 = 500 \text{ mm/min}$ gefahren. Die Zugkraftänderung in Abhängigkeit von der Längenänderung ΔL wurde von einem XY-Schreiber aufgezeichnet.

3.3.2 Prüfstand-Dauerschwingversuch

Prüfstandbeschreibung

Die Meßkette besteht aus einem servohydraulischen Prüfsystem (Schenck-Hydropuls-System) /16/ mit integrierter Kraftmeßkette, Wegmeßkette, Zählwerk, Regelkreis und einer jeweils für die Verbindungselemente konzipierten Probenaufnahme, die im wesentlichen auch schon bei den Zugversuchen verwendet wurden (siehe Bilder 19 bis 25).

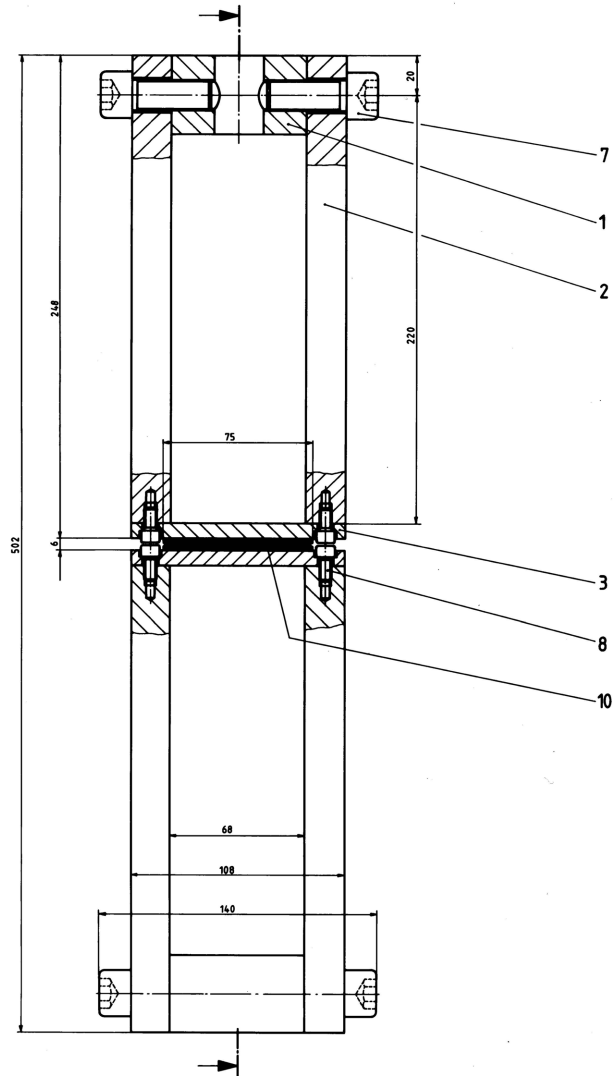


Bild 24: Probenaufnahme für Klettverschlüsse

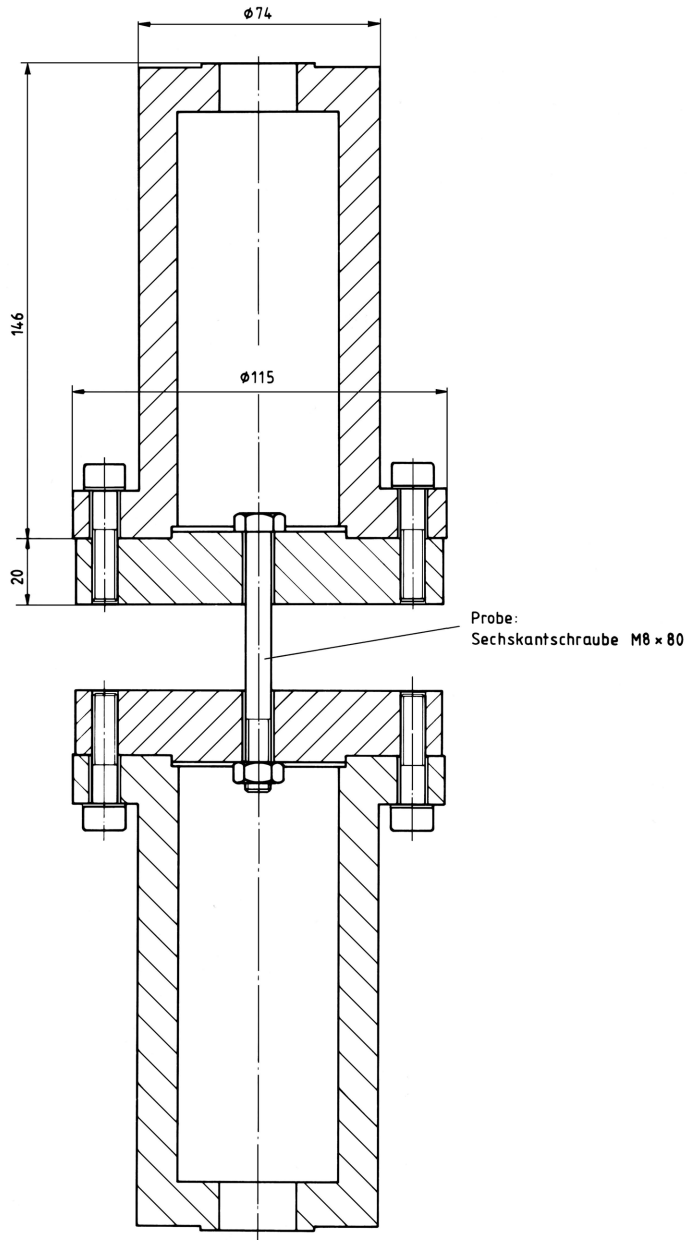


Bild 25: Probenaufnahme für Schrauben mit Muttern

Mittelkraft bzw. -weg können mit einem integrierten Digitalvoltmeter gemessen werden. Ein zweites Voltmeter (Firma Brüel + Kjaer) /14/ und ein Oszilloskop (PM 3110 Firma Philips) bringen die Ausschlagskraft und Schwingamplitude spannungsproportional zur Anzeige.

Versuchsdurchführung

Mindestens fünf Proben eines Probetyps wurden je Laststufe bei drei verschiedenen Laststufen und einer Frequenz von 80 Hz bis zu einer Grenzlastspielzahl von 10^7 Lastspiele schwingend belastet.

Für die Kunststoffschrauben mit Muttern betrug die Prüffrequenz 40 Hz, die Laststufenanzahl vier und die Probenzahl je Laststufe zehn Schrauben mit Muttern. Die im Vergleich zu den metallischen Proben niedrige Prüffrequenz sollte die Erwärmung der Kunststoffschrauben mit Muttern möglichst gering halten.

Durchläufer und Brüche wurden gezählt, die ertragene Lastspielzahl und die Laststufen je Probe wurden dokumentiert.

Die statistische Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt mit Hilfe der $\arcsin \sqrt{p}$ -Transformation /17/.

3.3.3 Prüfstand: Zeitstandzugversuch

In Anlehnung an DIN 5344 /27/ wurden zwei verschiedene Prüfstände entwickelt und jeweils in vierfacher Ausfertigung gebaut, mit denen Zeitstandzugversuche an Kunststoffschrauben/-muttern und Klettverschlüssen durchgeführt werden konnten (Bild 26, 27). Die Prüfstände sind in einem klimatisierten Raum aufgestellt. Die Raumtemperatur betrug während der Versuche $T_R = 23,0^\circ \text{C}$ und die relative Luftfeuchte $L = 50,0 \%$ /23/. Durch die Wahl dieser

Raumtemperatur wurde das Altern durch Temperatureinwirkung nach DIN 53446 /28/ ausgeschlossen.

3.3.3.1 Zeitstandzugversuch: Klettverschluß

Prüfstandbeschreibung

In Bild 26 ist die Konstruktion der Zeitstandsprüfvorrichtung für Klettverschlüsse dargestellt. In einem Rahmen (1) wird über ein Axialgelenklager (11) eine der Probenaufnahmen aufgehängt. An der zweiten Probenaufnahme sind über einen Gelenkkopf (12) Gewichte (8) befestigt. Die Probenträger (4) mit Klettverschluß sind mit der jeweiligen Probenaufnahme verschraubt.

Versuchsdurchführung mit Klettverschlüssen

Durch Zusammendrücken der beiden Probenaufnahmen wird der Klettverschluß gefügt. Ohne die Probe zu belasten, werden Gewichte (8) mit der Gewindestange (14) verschraubt. Dann kann mit Hilfe der Spindel (15) der gesamte Strang angehoben und die Probe mit der Gewichtskraft belastet werden. 500 Stunden oder bis zum vorzeitigen Versagen der Verbindung wurde die Längung der Probe, die Relativverschiebung zwischen den Probenaufnahmen, gemessen und von einem XT-Schreiber (Fa. Linseis 900) /42/ aufgezeichnet.

3.3.3.2 Zeitstandzugversuch: Schrauben mit Muttern

Prüfstandbeschreibung

Der Prüfstand für Schrauben/Muttern (Bild 27) besteht aus einem steifen Rahmen (1,3,6), an dem über einem Axiallager (8) der eine Einspannkopf (27) gelenkig gelagert ist. Beide Einspann-

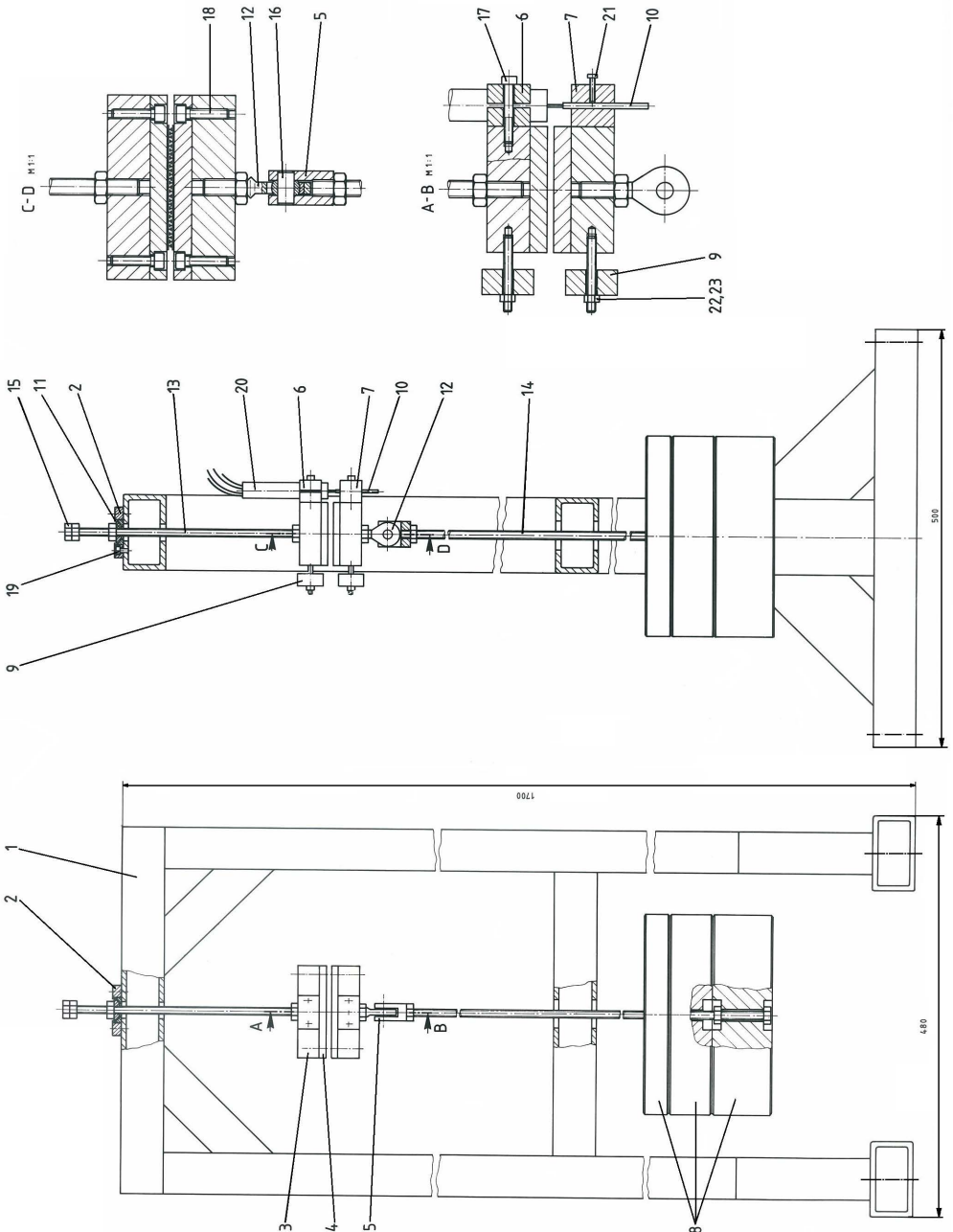


Bild 26: Prüfvorrichtung für Klettverschluß unter Normalbelastung
zur Durchführung von Zeitstandzugversuchen

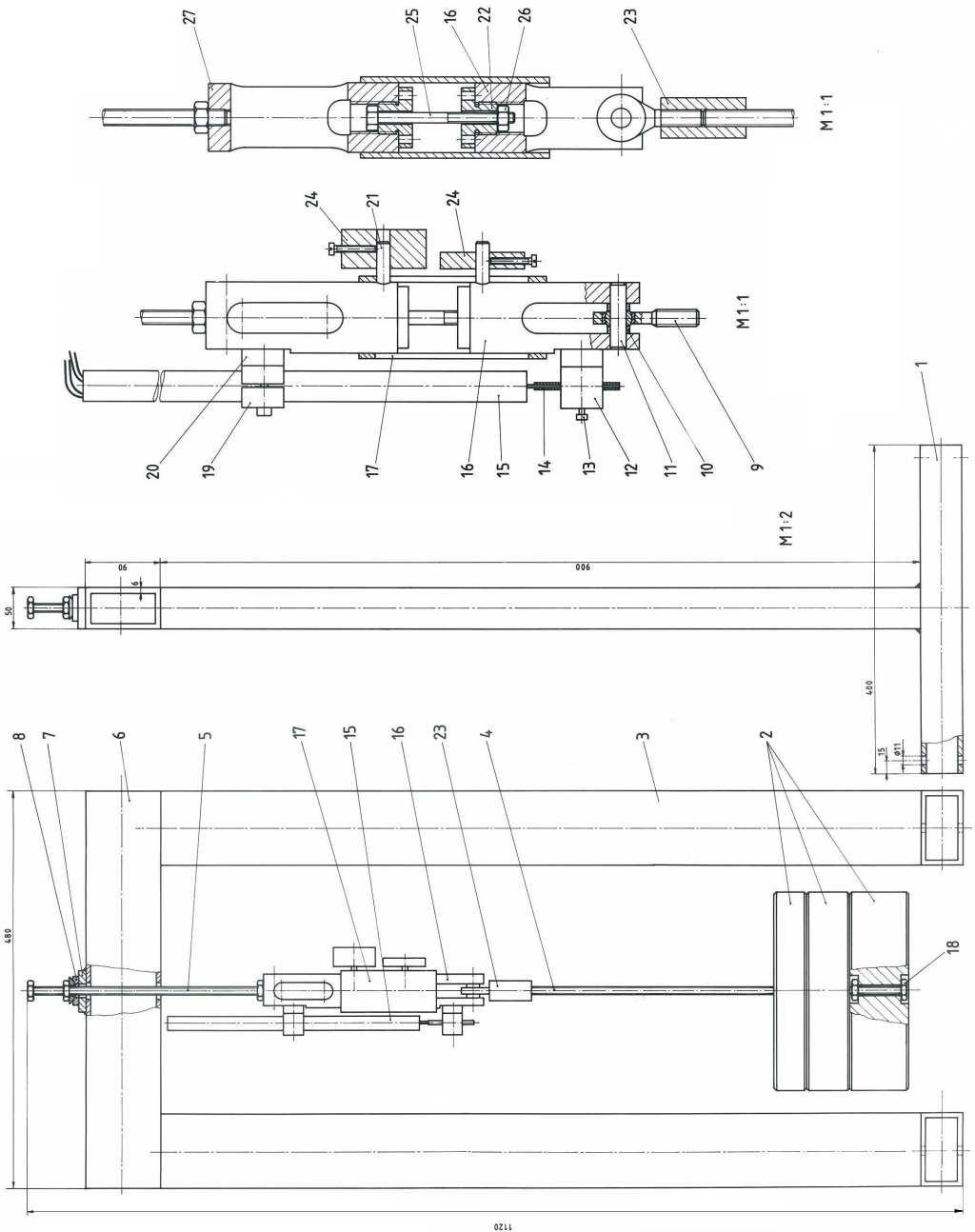


Bild 27: Prüfvorrichtung für Schrauben mit Muttern zur
Durchführung von Zeitstandzugversuchen

köpfe werden durch die Probe (25) und über eine Hülse (17) mit Langlöchern verbunden. Die Hülse überträgt Torsionsmomente und verhindert damit das Verdrehen der Einspannköpfe zueinander. Am unteren Einspannkopf (16) werden über ein Gelenklager (23) verschiedene Gewichte (2) befestigt. Die Relativverschiebung beider Einspannköpfe zueinander, also die Längung der Probe, wird mit Hilfe eines Differentialtransformators (14, 15) (Fa. Collins) /36/ spannungsproportional gemessen und von einem XT-Schreiber (Fa. Linseis) aufgezeichnet.

Versuchsdurchführung mit Schrauben und Muttern

Im entlasteten Zustand wurden die Proben in die Einspannköpfe eingesetzt und verschraubt. Die Klemmlänge betrug zu Beginn des Versuchs $L_k = 70$ mm. Dann konnte mit Hilfe von zwei Schraubenschlüsseln die Mutter auf der Gewindestange (5) so verdreht werden, daß sich die Gewichte von der Unterlage abhoben und die gesamte Gewichtskraft axial auf die Schraube mit Mutter wirkte.

Für jede Laststufe sind jeweils acht Proben 500 Stunden oder bis zum vorzeitigen Versagen des Verbindungselements belastet worden.

3.3.4 Prüfstand: Spannungsrelaxationsversuch

Prüfstandbeschreibung

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Zugprüfmaschine (Firma Instron 1113) /41/ mit integrierter Kraftmeßdose, einer Dehnmeßbrücke (Fa. Brandau DD 5) /51/ und einem XT-Schreiber (Firma Linseis 900) /42/.

(Vergleiche auch Prüfstandbeschreibung: Zugversuch)

3.3.4.1 Versuchsdurchführung mit Klettverschlüssen

Analog zum Zugversuch (Kap. 3.3.1 Prüfstand-Zugversuch) wurde der Klettverschluß Probe 021 im gefügten Zustand direkt in den Spannzangen der Zugprüfmaschine befestigt. Der Klettverschluß Probe 022 wurde zunächst auf Stahlplatten verklebt, die dann jeweils mit der Probenaufnahme (Bild 24) verschraubt wurden. Durch Zusammenfahren der Probenaufnahmen wurde die Probe 022 gefügt. Bei allen Spannungsrelaxationsversuchen in Anlehnung an DIN 53441 /26/ wurden dann die Probenaufnahmen mit einer Abzugsgeschwindigkeit von $V = 5 \text{ mm/min}$ so weit auseinander bewegt, bis sich eine bestimmte Vorspannkraft $F_V (t=0)$ in der Verbindung eingestellt hatte. Mit Hilfe von XT-Schreibern konnte dann die Abnahme der Vorspannkraft über eine Zeit von 20 Stunden zeitproportional aufgezeichnet werden.

3.3.4.2 Versuchsdurchführung mit Schrauben und Muttern

Die Einspannköpfe wurden so ausgerichtet, daß die Klemmlänge der Schraubenverbindung $L_k = 70 \text{ mm}$ betrug. Nach dem gerade noch vorspannkraftfreien Fügen der Schrauben mit Muttern, wurde mit der Abzugsgeschwindigkeit $V = 5 \text{ mm/min}$ die Traverse der Prüfmaschine verfahren, bis sich eine bestimmte Vorspannkraft $F_V (t=0)$ einstellte. Die Änderung dieser Vorspannkraft konnte dann in Abhängigkeit von der Belastungszeit über 20 Stunden aufgezeichnet werden. Je Laststufe und Probenotyp wurden acht Versuche durchgeführt.

3.3.5 Prüfstand - Quasistatische Füge/Löseversuche

3.3.5.1 Quasistatische Füge/Löseversuche mit Spannverschlüssen

Prüfstandbeschreibung

In Bild 28 ist die Ausführung einer Füge/Lösevorrichtung für Spannverschlüsse dargestellt. Der Prüfstand besteht im wesentlichen aus zwei Kraftmeßdosen (9, 26), zwei Differentialtransformatoren zur Wegmessung (51, 53), einer Probenaufnahme (2, 3), einer Antriebseinheit (44, 45), einer Feder mit verstellbarer Steifigkeit, einem steifen Rahmen, zwei XY-Schreibern (Fa. HP) /39/ und einer Steuereinheit (Bild 30, 31, 32 in Kapitel 3.3.7).

Über den Pneumatikantrieb kann die Schubstange (21) in vertikaler Richtung verfahren werden. Dabei wurde dann mit Hilfe eines Adapters, der am Verschußhebel des Spannverschlusses befestigt ist, die Verbindung gefügt und gelöst.

Versuchsdurchführung

Für vier verschiedene Probentypen wurden jeweils Füge/Lösevorgänge bei unterschiedlichen Steifigkeiten der Anschlußkonstruktion und Variation der Winkelstellung des Verschußhebels durchgeführt /3/.

Der Spannverschluß mit Gegenhaken wurde jeweils auf den Aufnahmeplatten (2, 3) verschraubt und am Verschußhebel der Adapter (30, 31, 32) befestigt. Die Steifigkeit der Anschlußkonstruktion konnte durch das definierte Auflegen verschiedener Tellerfedern auf die Spindel (9) variiert werden.

Mit Hilfe der Mutter (10) wurden die Aufnahmeplatten zueinander verschoben und damit der Verschlußhebel des Spannverschlusses in eine bestimmte Winkellage gebracht, bei der die Verbindung gerade noch vorspannkraftfrei war. Die Schubstange wurde dann zum einmaligen Fügen und anschließendem Lösen über den Pneumatik-antrieb und einer Handsteuerung entsprechend verschoben.

Der Fügekraft- bzw. Lösekraft-Wegverlauf wurde mit dem Wegauf-nehmen (51) und der Kraftmeßdose (26) gemessen und zur Bestimmung der Füge/Lösearbeit A_F , A_L von einem XY-Schreiber /39/ aufgezeichnet.

Zur Bestimmung der gespeicherten Energie E_S konnte im gefügten Zustand der Verbindung die Mutter (10) verdreht und damit die Verbindung wieder entlastet werden. Die Vorspannkraft und Wegänderung wurde von der Kraftmeßdose (9) und dem Wegaufnehmer (53) gemessen und mit einem XY-Schreiber aufgezeichnet.

Die Flächen unter diesen Kraft/Wegdiagrammen entsprechen den Füge/Lösearbeiten A_F und A_L sowie den gespeicherten Energien E_S .

3.3.5.2 Quasistatische Füge/Löseversuche mit Schrauben/ Muttern

Prüfstandbeschreibung:

Die Ausführung einer Füge/Lösevorrichtung für Schrauben mit Muttern ist in dem Bild 29 dargestellt. Die wesentlichen Elemente dieser Vorrichtung sind eine Kraftmeßdose (6), eine Momentenmeßdose (9), zwei Wegmeßdosen (36, 37) und zwei XY-Schreiber /37/. Die Einspannköpfe für die Schraube mit Mutter sind mit einem Zylinder (1, 2) verbunden. Um u. a. die Anschlußsteifigkeit variieren zu können, kann der Zylinder mit unterschiedlichen Medien, wie Öl oder Luft, bis zu einem maximalen Innendruck von 10 bar gefüllt werden.

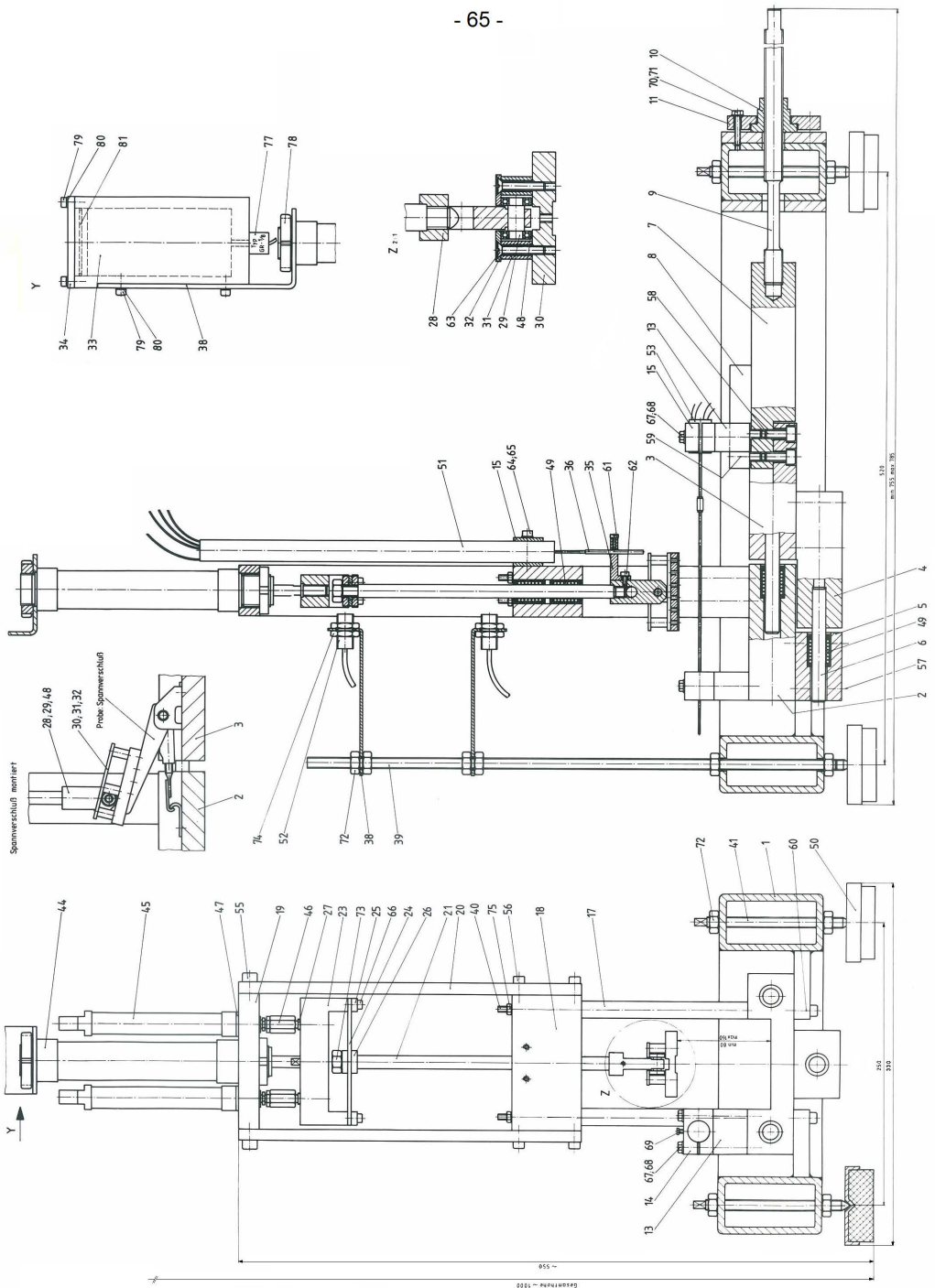


Bild 28: Ausführung einer Füge/Lösevorrichtung für Spannverschlüsse

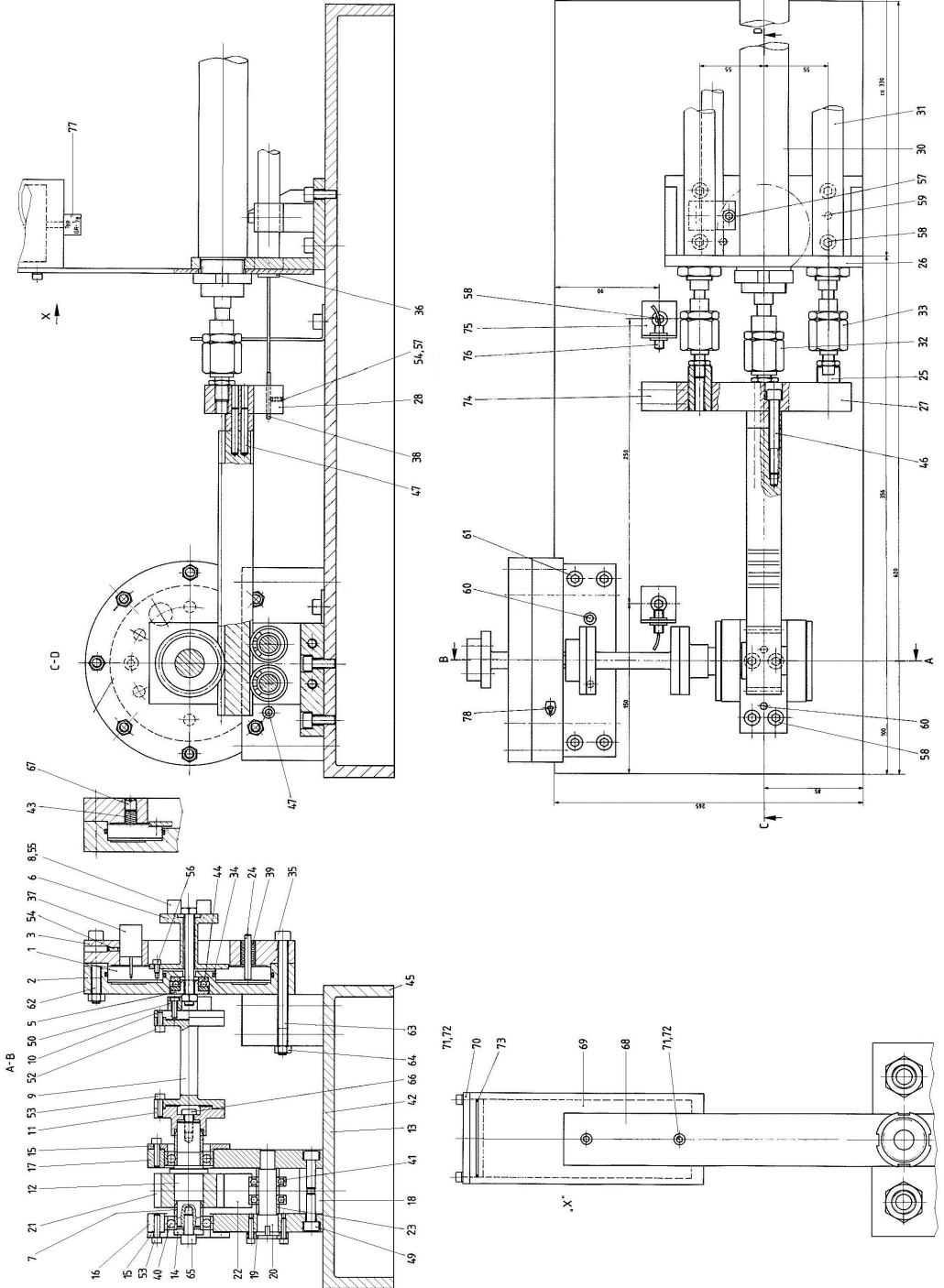


Bild 29: Ausführung einer Füge/Lösevorrichtung für Schrauben/Muttern

Mit Hilfe eines Zahnstangen-Zahnradgetriebes (21, 22) wird die translatorische Bewegung eines Pneumatikzylinders (30) in eine rotatorische Bewegung umgewandelt, die dann über eine Welle (Momentenmeßdose (9)) geleitet die Mutter zum Fügen und Lösen verdreht.

Unter der Mutter der zu untersuchenden Verbindung befindet sich ein Axialkugellager (41). Durch dieses Lager wird eine Schraubenverbindung realisiert, bei der die Kopfreibung und das Kopfreibungsmoment gegen den Zahlenwert Null geht.

Versuchsdurchführung:

Mit Schrauben und Muttern aus Stahl (Probe 025) wurden bei zwei verschiedenen Steifigkeiten der Anschlußkonstruktion und verschiedenen Vorspannkräften F_V statische Füge/Löseversuche durchgeführt /63/.

Die Steifigkeiten betragen:

- a) mit Pneumatik $C_P = 5,5 \cdot 10^5$ N/mm und
- b) mit Hydraulik $C_H = 10,5 \cdot 10^5$ N/mm.

Die Schraube (Probe 025) wurde durch den Zylinder (2) gesteckt und mit der Mutter verschraubt. Aus der gerade noch vorspannungsfreien Stellung der Verbindung konnte die Mutter mit Hilfe des Pneumatikantriebes bis zum Erreichen einer bestimmten Vorspannkraft F_V gefügt und dann anschließend wieder gelöst werden. Das Füge- und Lösemoment wurde dann in Abhängigkeit des Verdrehwinkels der Mutter von einem XY-Schreiber aufgezeichnet. Zur Bestimmung der gespeicherten Energie E_S in der Verbindung wurde der Druck im Zylinder (1, 2) von $P_1 = 10,0$ bar auf $P_2 = 0,0$ bar gesenkt. Die Abnahme der Vorspannkraft in der Schrauben/Muttern-Verbindung und die Verschiebung des Kolbens der simulierten Anschlußkonstruktion wurde gemessen und von einem zweiten XY-Schreiber aufgezeichnet.

Die Füge/Lösearbeiten A_F und A_L sowie die gespeicherte Energie E_S sind den eingeschlossenen Flächen im Kraft/Weg- bzw. Momenten/Winkeldiagramm proportional.

Es erwies sich schon nach den ersten Versuchen als nicht sinnvoll, statische Füge/Löseversuche mit Kunststoffschrauben/-muttern durchzuführen. Aufgrund des Relaxationsverhaltens der Werkstoffe PA 6.6, PA 6.6 GF und PE sank die Vorspannkraft F_V ($t=0$) der Verbindung unmittelbar nach dem Fügen. Die ursprünglich gespeicherte Energie E_S konnte daher nicht mehr bestimmt werden.

3.3.6 Prüfstand - Dynamische Füge/Löseversuche

3.3.6.1 Dynamische Füge/Löseversuche mit Spannverschlüssen

Prüfstandbeschreibung:

Zur Durchführung von dynamischen Füge/Löseversuchen wurde der im Kapitel 3.3.5.1 beschriebene Prüfstand verwendet. Die dort erwähnten XY-Schreiber wurden durch zwei XT-Schreiber (Firma Linseis) /42/ ausgetauscht.

Versuchsdurchführung

Von der in Kapitel 3.3.7 beschriebenen Steuerung, die sich aus einer Pneumatikschaltung (Bild 30), einer Hydraulikschaltung (Bild 31) und einer Elektrikschaltung (Bild 32) zusammensetzte, wurden die simulierten Füge/Lösevorgänge an Spannverschlüssen überwacht.

Beim Fügen sollte der Hebel des Spannverschlusses zwischen zwei Winkellagen wiederholt bewegt werden: die eine Lage ist die des

gefügten Zustandes, die andere eine Winkellage, bei der die Verbindung gerade noch vorspannkraftfrei ist.

Zwei Näherungsinitiatoren (52) der Füge/Lösevorrichtung für Spannverschlüsse (Bild 28), deren Lagen verändert werden konnten, registrierten das Erreichen der Winkellage (Wegregelung) und gaben den entsprechenden Impuls an die Steuereinheit weiter.

Die Füge/Lösegeschwindigkeit bzw. -frequenz konnte mit Hilfe von zu dem Pneumatikzylinder (44) parallel geschalteten Hydraulikzylindern (45) und zwei Drosseln (77) eingestellt werden.

Es wurden dynamische Füge/Löseversuche mit vier verschiedenen Spannverschußtypen, der Probe 004, 011, 012 und 013, durchgeführt. Versuchsparameter waren:

- a) zwei verschiedene Winkellagen zu Beginn des Versuches,
- b) zwei verschiedene Steifigkeiten der Anschlußkonstruktion.

Von den XT-Schreibern wurde während der 1000 Füge/Lösevorgänge der Füge-, Löse- und Vorspannkraftverlauf in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnet.

3.3.6.2 Dynamische Füge/Löseversuche mit Schrauben/Muttern

Prüfstandbeschreibung:

Dynamische Füge/Löseversuche mit Schrauben/Muttern wurden auf der im Kapitel 3.3.5.2 beschriebenen Prüfvorrichtung (Bild 29) durchgeführt. Statt der dort erwähnten XY-Schreiber wurden zwei XT-Schreiber (Fa. Linseis) /42/ verwendet.

Versuchsdurchführung:

Der Füge/Lösevorgang wurde mit Hilfe der in Kapitel 3.3.7 beschriebenen Steuerung überwacht. Zwei Umschaltpunkte konnten an dem Schaltschrank eingestellt werden, die der minimalen und der maximalen Vorspannkraft (Kraftregelung) entsprachen. Die Füge/Lösegeschwindigkeit konnte mit dem zum Pneumatikzylinder (30) parallel geschalteten Hydraulikzylinder (31) durch Verstellen von Drosseln eingestellt werden. Die Pneumatik-, Hydraulik- und Elektrischaltpläne sind in den Bildern 30, 31, 32 dargestellt.

Für zwei verschiedene Probentypen, eine Stahlschraube/-mutter 8.8 (Probe 027) und eine Kunststoffschraube/-mutter PA. 6.6 (Probe 14), wurden bei unterschiedlichen maximalen Vorspannkraften und verschiedenen Behandlungszuständen der Flanken Füge/Lösevorgänge bis zu 1000 Mal wiederholt /63/. Die Behandlungszustände von Stahlschrauben/-muttern waren:

- a) Anlieferungszustand,
- b) gereinigt und
- c) gereinigt und geschmiert.

Für Kunststoffschrauben/-muttern waren diese:

- a) Anlieferungszustand,
- b) geschmiert.

Beim wiederholten Fügen und Lösen wurden die Vorspannkraft- und Momentenverläufe gemessen und von den XT-Schreibern aufgezeichnet.

3.3.7 Erläuterung zur Steuerung und Regelung der Füge/Löse- vorrichtungen

Zur Steuerung und Regelung der Füge/Lösevorrichtungen für Spannverschlüsse und Schrauben mit Muttern wurde eine Schaltung entwickelt, die sich aus einem pneumatischen (Bild 30), einem hydraulischen (Bild 31) und einem elektrischen Schaltkreis (Bild 32) zusammensetzt. Mit Hilfe dieser elektrisch bzw. mechanisch gekoppelten Schalteinheiten und der jeweiligen Füge/Lösevorrichtung können statische und dynamische Füge/Löseversuche kraft- bzw. momentengeregelt (Schrauben/Mutternverbindungen) oder weg- bzw. winkeligeregelt (Spannverschlüsse) zur quantitativen Bestimmung der in Kapitel 2 definierten Auswahlkenngrößen durchgeführt werden.

Pneumatikschaltplan:

An den Druck-Regelventilen (Bild 30) (1, 7, 8) kann der Systemdruck bzw. der maximale Druck an beiden Seiten des Pneumatikzylinders (9), dem Antrieb der Füge/Lösevorrichtung, eingestellt werden. Das elektromagnetisch betätigte 2/2-Wegventil (3), das indirekt elektromechanisch betätigte 4/2-Wegventil (6) und das elektrisch betätigte 2/2-Wegventil (4) werden von der Elektrikschaltung (Bild 32) so angesteuert, daß der Pneumatikzylinder (9) von Hand (Handbetrieb) oder automatisch (Automatikbetrieb) wechselseitig mit Druck beaufschlagt wird. Durch zwei in der Lage verstellbare Näherungsinitiatoren (10A, 10B), die in der elektrischen Schaltung (Bild 32) gekoppelt sind, kann ein bestimmter Hubweg eingestellt werden.

Hydraulikschaltplan:

Um die Füge/Lösegeschwindigkeit bzw. -frequenz regulieren zu können, wurde die vom Pneumatikzylinder (1) (Bild 31) bewegte Traverse mit zwei Hydraulikzylindern mechanisch gekoppelt. Der

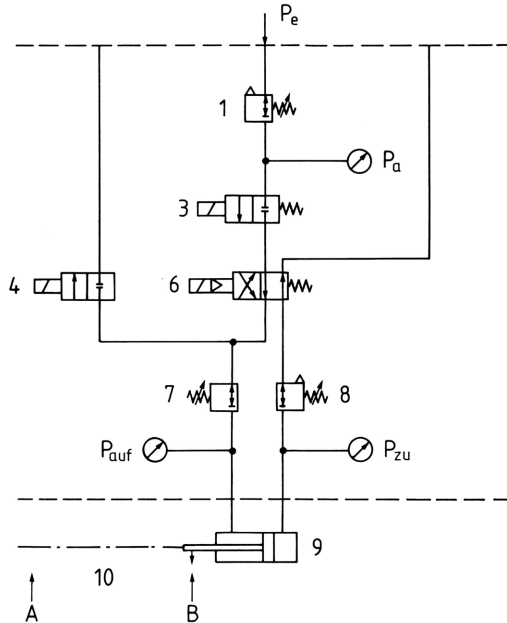


Bild 30: Pneumatikschaltplan der Füge/Lösevorrichtungen

Hydraulikstrom wird kolben- bzw. stangenseitig jeweils wechselnd über eine zur Geschwindigkeitsregulierung verstellbare Drossel (3) in einen Speicher (5) bzw. über ein Rückschlagventil (4) in den Zylinder zurückgeleitet.

Elektrischschaltplan:

Die elektrische Schaltung zum Ansteuern der Pneumatikventile und zur Regelung der Füge/Lösevorgänge ist in Bild 32 dargestellt. Drei verschiedene Betriebszustände können mit dieser gewählt werden:

- a) der Handbetrieb
- b) der Automatikbetrieb kraft- bzw. momentengeregelt und
- c) der Automatikbetrieb weg- bzw. winkeligeregelt.

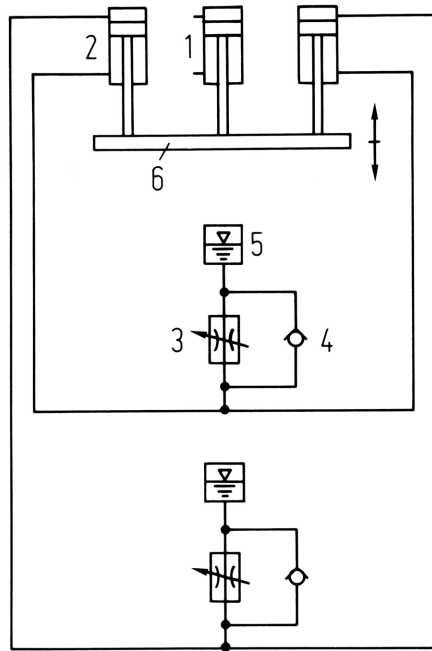


Bild 31: Hydraulikschaltplan der Füge/Lösevorrichtung

Im Handbetrieb kann der Pneumatikzylinder, der den Füge-/Lösevorgang an dem Verbindungselement antreibt, durch Knopfdruck wechselnd in die jeweilige Richtung verfahren werden.

Im Automatikbetrieb, kraft- bzw. momentengeregelt, kann jeweils der Sollwert an zwei Potentiometern spannungsproportional eingestellt werden. Sind nach dem Verfahren des Pneumatikzylinders im Automatikbetrieb der Ist- und Sollwert gleich, werden die Magnetventile der Pneumatikschaltung so angesteuert, daß die Bewegungsrichtung jeweils wechselt.

Als Umschaltimpuls im weg- bzw. winkelgeregelten Automatikbetrieb dient jeweils der Impuls von zwei verstellbaren Näherungssensoren. Ein Zählwerk, an dem die maximale Füge/Lösezyklen-

zahl eingestellt werden kann, registriert die Füge/Lösevorgänge. Bei Erreichen der maximalen Zyklenzahl werden die Füge/Lösevorgänge beendet.

3.4 Versuchsergebnisse

3.4.1 Versuchsergebnisse für Spannverschlüsse

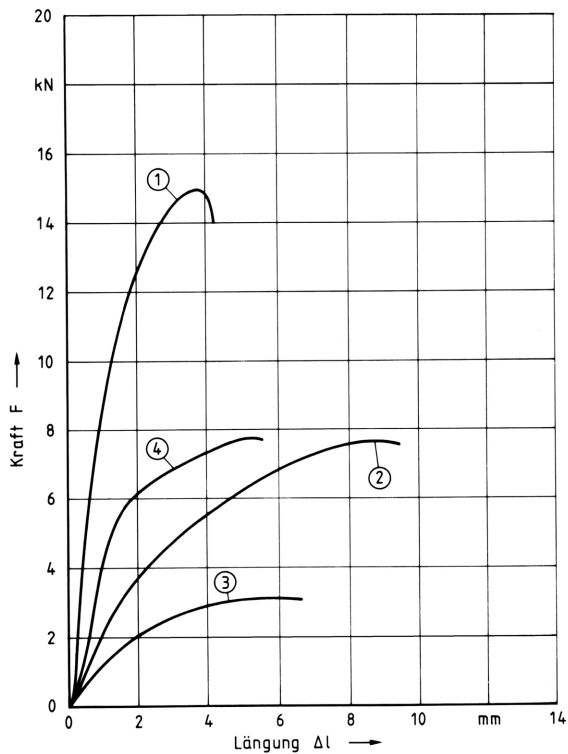


Bild 33: Kraft-Längungsdiagramm für verschiedene Spannverschlüsse (1-Probe 004; 2-Probe 011; 3-Probe 012; 4-Probe 013)- Werkstoff: Stahl

Zugversuch und Dauerschwingversuch:

Die maximal übertragbaren Zugkräfte für die vier untersuchten Spannverschlüsse (Bild 11) liegen zwischen 3,1 kN und 14,9 kN (Bild 33).

Durch eine einfache konstruktive Maßnahme, das Austauschen der Gewindestange mit Klaue durch eine genormte Schraube (DIN 912 M 8 x 70 8.8) und das Ersetzen des Gegenhakens durch eine Gabel, konnte das dynamische Tragverhalten der Probe 013 (Bild 11d) gegenüber dem Ausgangsmodell Probe 011 (Bild 11b) um 100 % gesteigert werden. Bei 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit und einer Grenzlastspielzahl von zehn Millionen Lastspielen erträgt die Probe 011 eine Belastung von ca. 1,20 kN +/- 0,27 kN und die Probe 013 2,40 kN +/- 0,65 kN (Bilder 35a, b, c, d). Typische Versagenskriterien bei statischer und dynamischer Belastung von Spannverschlüssen, wie das Aufbiegen bzw. der Bruch von Klaue und Gegenhaken, sind in den Bildern 40, 41 dargestellt.

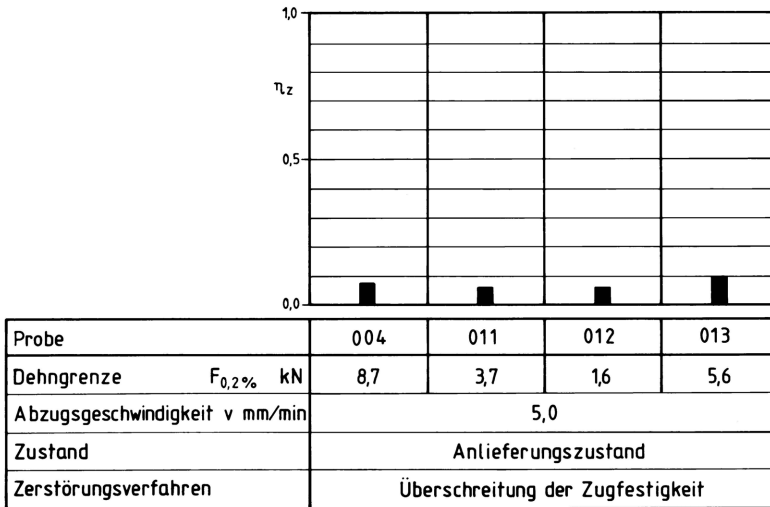


Bild 34: Zerstörungswirkungsgrad η_z für verschiedene Spannverschlüsse durch Überschreiten der Zugfestigkeit in Hauptlasttrichtung (Erläuterungen siehe Seite 81)

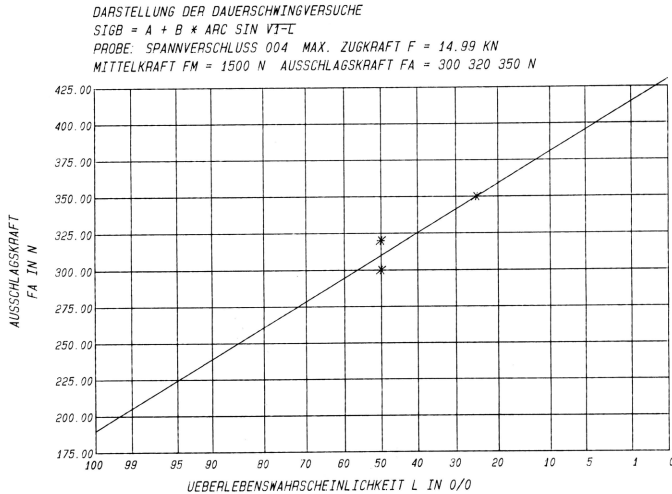


Bild 35a: Spanverschluss (Probe 004) - Werkstoff: Stahl

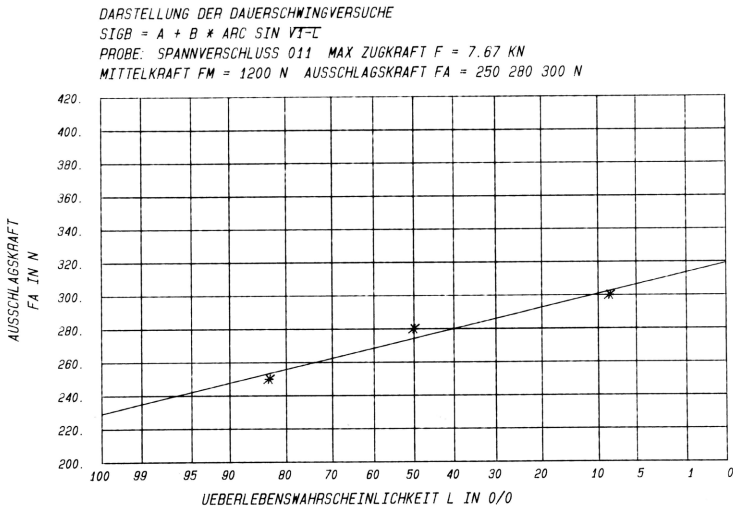


Bild 35b: Spanverschluss (Probe 011) - Werkstoff: Stahl

Bild 35a - d: Ausschlagskraft F_A in Abhängigkeit von der Überlebenswahrscheinlichkeit L für verschiedene Spanverschlüsse

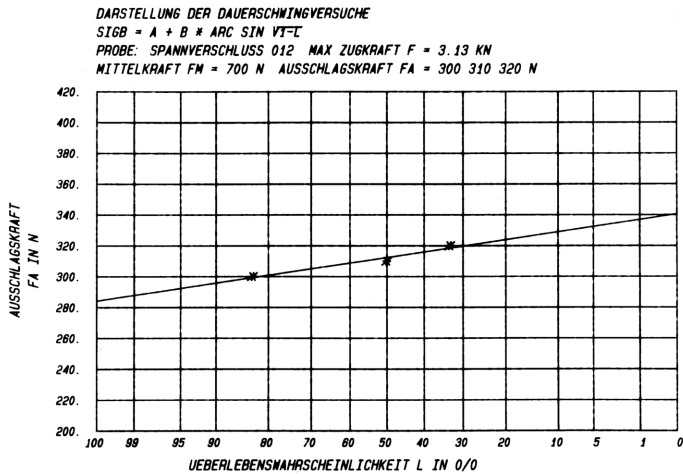


Bild 35c: Spannverschluß (Probe 012) - Werkstoff: Stahl

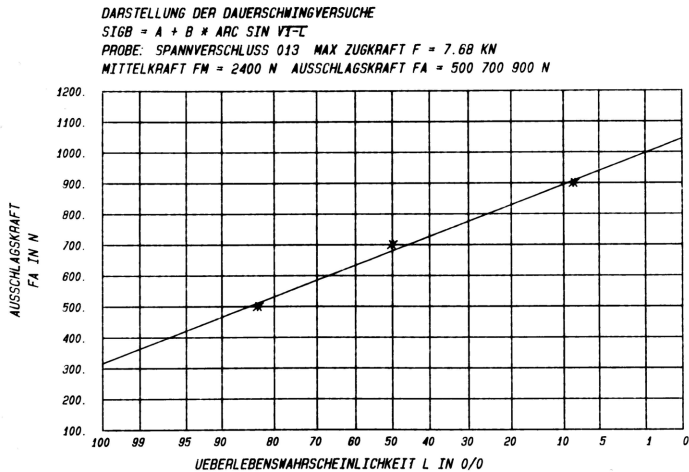


Bild 35d: Spannverschluß (Probe 013) - Werkstoff: Stahl

Nachstell- und Einstellversuch:

In Nachstell- und Einstellversuchen wurden die Spannverschlüsse zunächst fünfmal gefügt und gelöst und dann vor den nächsten fünf Fügezyklen neu eingestellt. Die Versuchsergebnisse, die in den Bildern 36a, b, c, d dargestellt sind, zeigen, daß bei steifer Anschlußkonstruktion das Verdrehen der Halteklau um 360° für ein Einstellen der Vorspannkraft bei den Proben 004, 011, 012 nicht ausreichend ist. Die Änderung der Vorspannkraft beträgt hierbei schon 70 %, obwohl ein Ausgleich nach fünf Zyklen von ca. 10 % - 15 % ausreichend wäre.

Der neuentwickelte Verschuß Probe 013 besitzt im Gegensatz zu den anderen untersuchten Spannverschlüssen eine kontinuierliche Einstell- und Nachstellmöglichkeit. Selbst im geschlossenen Zustand können Nachstellarbeiten vorgenommen werden. Vorspannverluste sind gut ausgleichbar (Bild 36d).

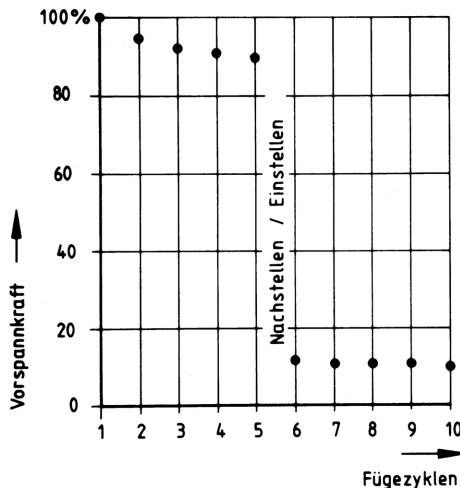


Bild 36a: Spannverschuß (Probe 004)

Bild 36a - d: Vorspannkraft in Abhängigkeit von den Fügezyklen vor und nach dem Nach- bzw. Einstellen für verschiedene Spannverschlüsse

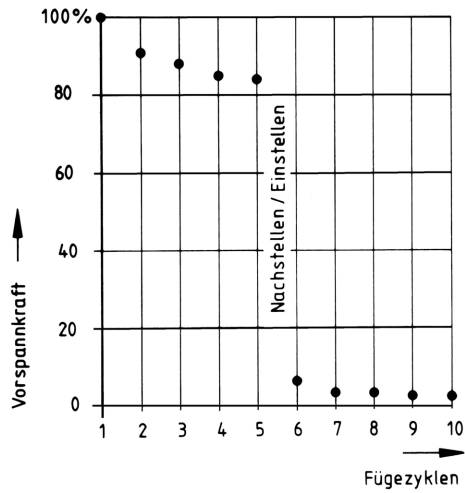


Bild 36b: Spannverschluß (Probe 011)

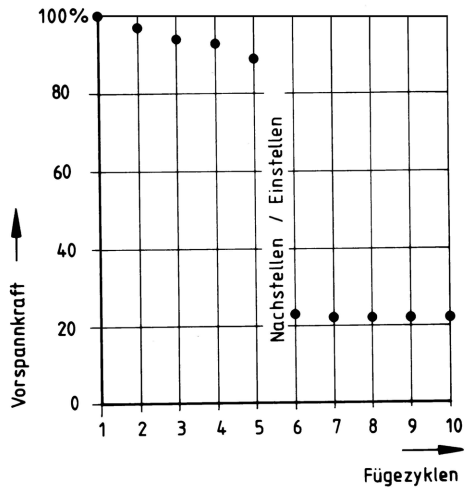


Bild 36c: Spannverschluß (Probe 012)

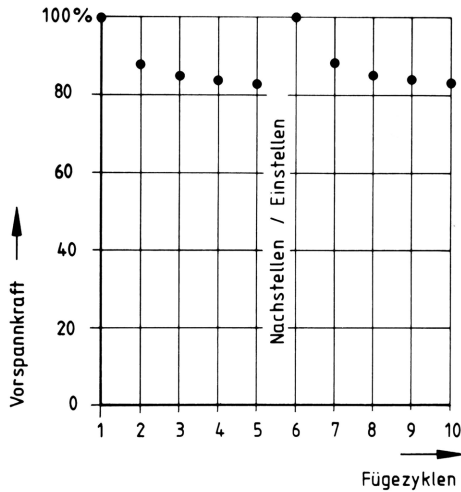


Bild 36d: Spannverschluß (Probe 013)

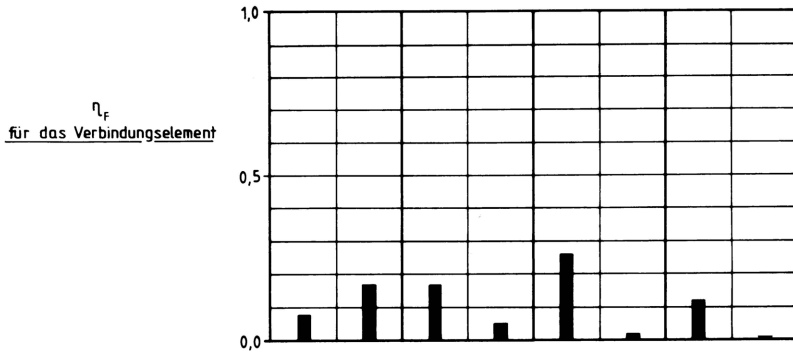
Füge-, Löse- und Zerstörversuch:

Der Zerstörungswirkungsgrad für die Proben ist kleiner 0,1 (Bild 34), der Lösewirkungsgrad liegt zwischen 0,05 und 0,5 (Bild 38) und der Fügewirkungsgrad zwischen 0,02 und 0,28 (Bild 37).

Bildunterschriften zu nachfolgenden Bildern

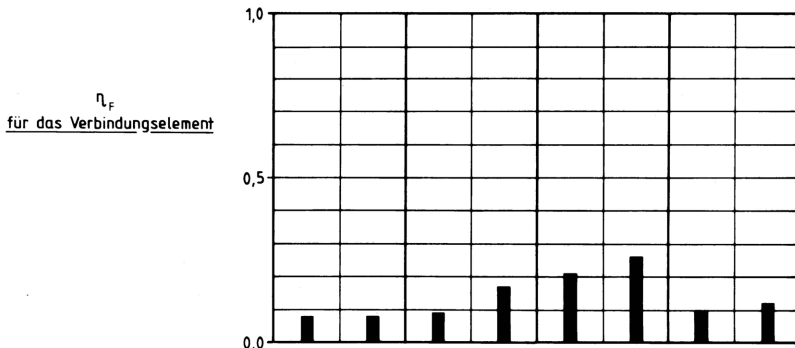
Bild 37a - b: Fügewirkungsgrad η_F des Verbindungselements für vier verschiedene Spannverschlüsse bei a) verschiedenen Anschlußsteifigkeiten C_A bzw. bei b) verschiedenen Schwenkwinkeln

Bild 38 a- b: Lösewirkungsgrad η_L des Verbindungselements für verschiedene Spannverschlüsse bei a) verschiedenen Anschlußsteifigkeiten C_A bzw. bei b) verschiedenen Schwenkwinkeln



Anschlußsteifigkeit c 10^5 N/mm	5,00	0,02	5,00	0,02	5,00	0,02	5,00	0,02
Schwenkwinkel $\Delta \varphi$ °	40	37	45	45	39	36	48	45
maximale Fügekraft \hat{F}_{Fmax} N	21	3	39	18	7	2	54	17
Fügearbeit A_F Nmm	916	98	2368	684	392	78	3317	657
Vorspannkraft F_V N	489	90	1545	360	603	205	2040	463
gespeicherte Energie E_S Nmm	68	16	412	28	87	2	414	4
Probe	004		011		012		013	

Bild 37a: Fügewirkungsgrad für Spannverschlüsse in Abhängigkeit verschiedener Anschlußsteifigkeiten



Schwenkwinkel $\Delta \varphi$ °	32	40	38	45	31	39	34	48
maximale Fügekraft \hat{F}_{Fmax} N	6	21	18	39	4	7	16	54
Fügearbeit A_F Nmm	201	916	783	2368	176	392	571	3317
Vorspannkraft F_V N	84	489	482	1545	372	603	414	2040
gespeicherte Energie E_S Nmm	14	68	67	412	42	87	53	414
Probe	004		011		012		013	

Bild 37b: Fügewirkungsgrad für Spannverschlüsse in Abhängigkeit verschiedener Schwenkwinkel

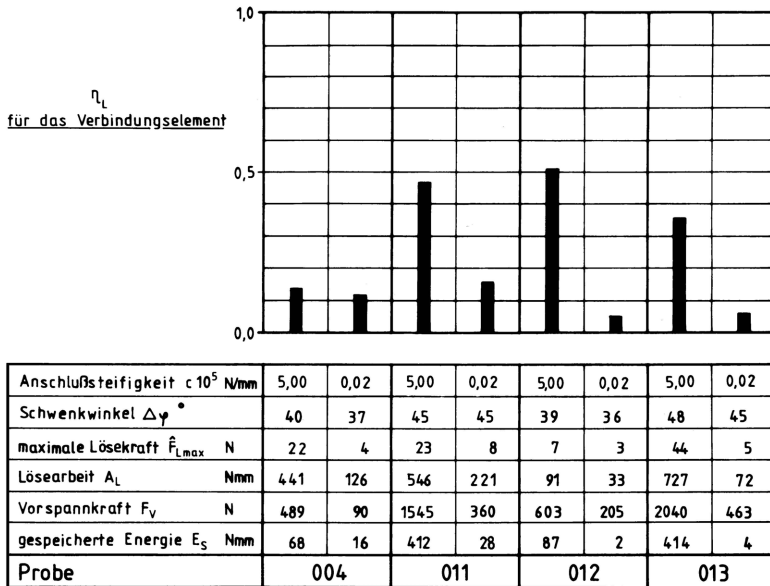


Bild 38a: Lösewirkungsgrad für Spannverschlüsse in Abhängigkeit verschiedener Anschlußsteifigkeiten

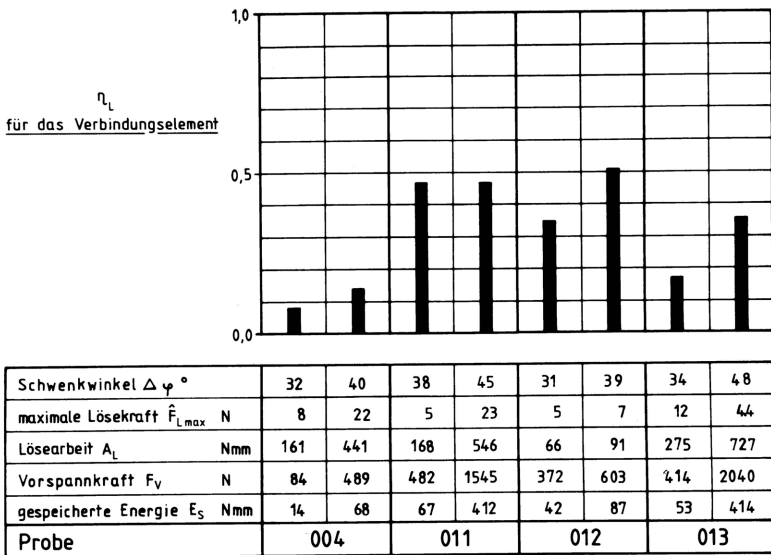


Bild 38b: Lösewirkungsgrad für Spannverschlüsse in Abhängigkeit verschiedener Schwenkwinkel

Dynamischer Füge/Löseversuch:

In den dynamischen Füge/Löseversuchen wurde die Änderung der Vorspannkraft und die der Füge- bzw. Lösekraft in Abhängigkeit von den Fügezyklen ermittelt. Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 39a, b, c, d) dargestellt.

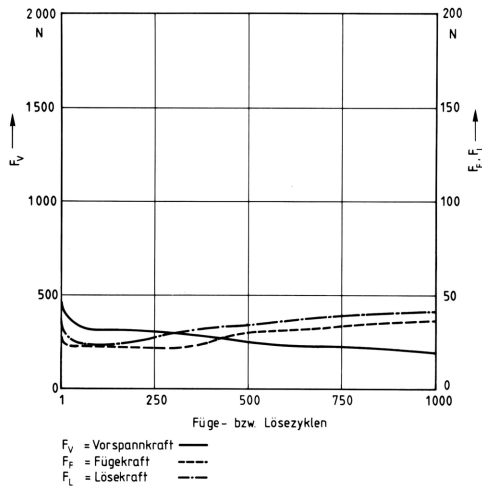


Bild 39a: Spannverschluß (Probe 004)

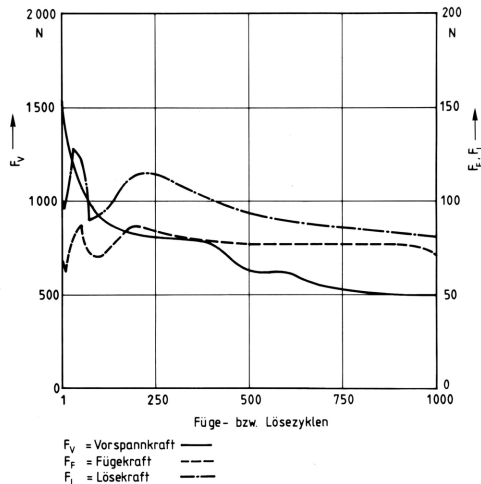


Bild 39b: Spannverschluß (Probe 011)

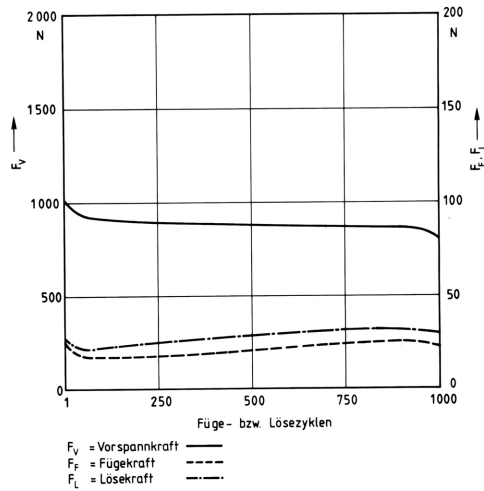


Bild 39c: Spannverschluß (Probe 012)

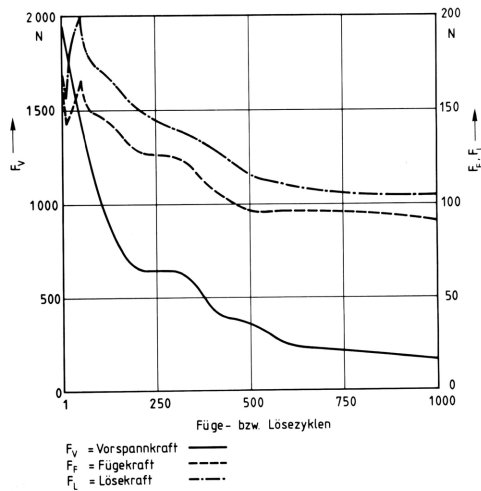


Bild 39d: Spannverschluß (Probe 013)

Bild 39a - d: Abnahme der Vorspannkraft F_V und Änderung der Füge- und Lösekraft F_F , F_L , Abhängigkeit von den Füge- bzw. Lösezyklenⁿ für verschiedene Spannverschlüsse

Die Vorspannkraft fällt bei der Probe 013 nach 1000 Zyklen um 90 %, bei den Proben 004, 012 um 60 %. Bei der Probe 012 ändert sich die Vorspannkraft aber nur um 10 %. Bei den Proben 011 und 013 steigt die Füge- bzw. Lösekraft nach den ersten Fügezyklen zunächst an und fällt dann parallel zur Vorspannkraft ab. Bei den Proben 004 und 012 steigt die Füge- bzw. Lösekraft fast kontinuierlich nach 1000 Zyklen um 5 % an.

Nach den dynamischen Füge/Löseversuchen sind an allen Proben deutlich Verschleißerscheinungen zu erkennen, wie plastische Verformungen und Abrieberscheinungen an Gelenkbolzen, Haken und Gegenhaken.

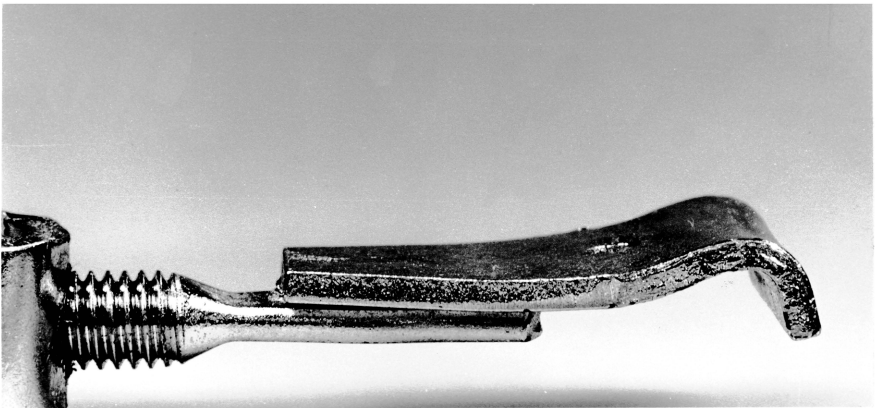


Bild 40: Spannverschluß nach durchgeführtem Zugversuch, Versagen der Probe 011 durch Aufbiegen des Gegenhakens

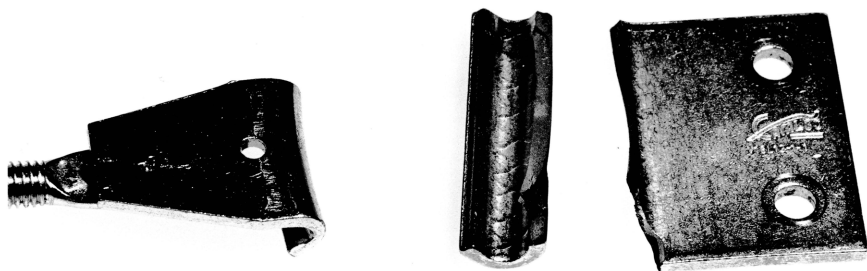


Bild 41: Spannverschluß nach durchgeführtem Dauerschwingversuch, Versagen der Probe 011 durch Bruch des Gegenhakens

Beurteilung: Spannverschluß

Spannverschlüsse sind im allgemeinen bei statischer und dynamischer Belastung zuverlässige Verbindungselemente.

Die Untersuchungen zeigten, daß eine konstruktive Überarbeitung dieser Spannverschlüsse für den Einsatz bei dynamischer Belastung sowie für wiederholte Füge- und Lösevorgänge lohnend ist. Hierbei sollten brauchbare Einstell- und Nachstellmöglichkeiten vorgesehen werden, die auch bei steifen Anschlußkonstruktionen eine Korrektur der Vorspannkräfte ermöglichen.

Durch Schmierung von Haken, Gegenhaken und Gelenkbolzen könnten Reiberscheinungen und damit verbundene Verschleißerscheinungen verringert werden. Das statische und dynamische Füge- bzw. Löseverhalten würde sich durch diese Maßnahmen verbessern.

3.4.2 Versuchsergebnisse für 1/4-Drehverschlüsse

Zugversuch, Dauerschwingversuch:

Der 1/4-Drehverschluß (Probe 026) versagt im Zugversuch durch Bruch des Bolzens (Bild 42) und im Dauerschwingversuch durch An-

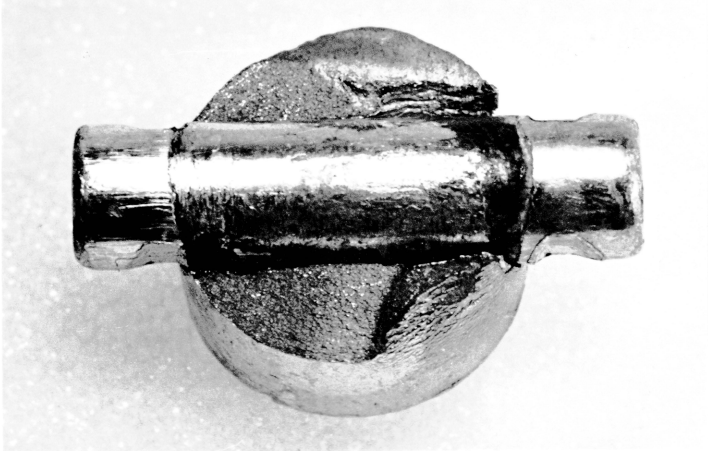


Bild 42: 1/4-Drehverschluß (Probe 026) nach durchgeführtem Zugversuch, Bruch des Bolzens

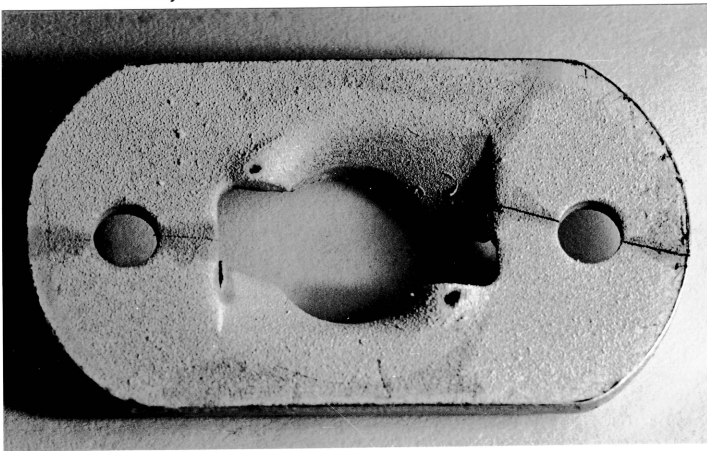


Bild 43: 1/4-Drehverschluß (Probe 026) nach durchgeführtem Dauerschwingversuch, Anriß im Haltenocken

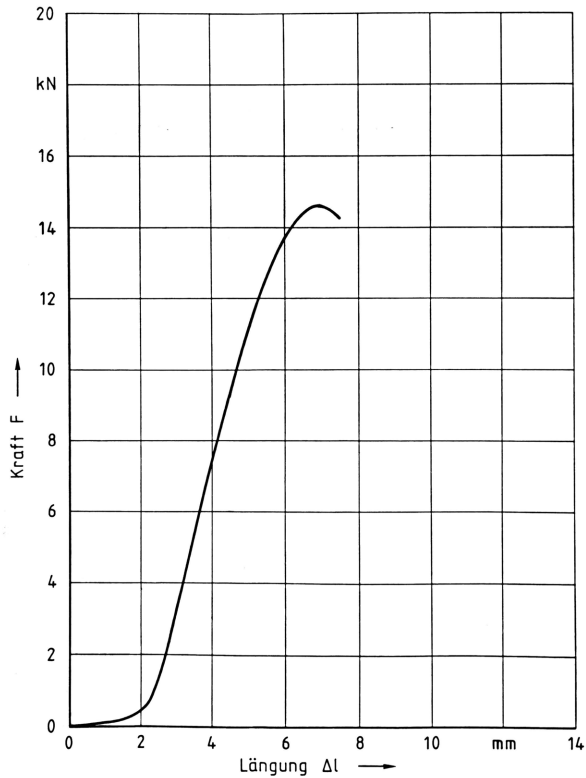


Bild 44: Kraft-Längungsdiagramm für den 1/4-Drehverschluß (Probe 026)

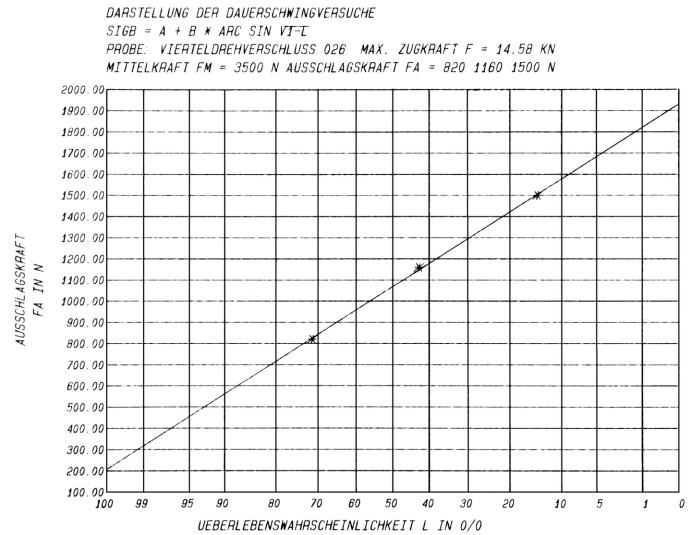


Bild 45: Ausschlagskraft F_A in Abhängigkeit von der Überlebenswahrscheinlichkeit L für den 1/4-Drehverschluß (Probe 026)

riß und Bruch im Haltenocken (Bild 43). Die maximal ertragbare Zugkraft der untersuchten Probe beträgt 14,0 kN (Bild 44). Sie beträgt bei Dauerschwingbelastung und 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit $3,5 \text{ kN} \pm 1,1 \text{ kN}$ (Bild 45).

Beurteilung: 1/4-Drehverschluß

Mit dem 1/4-Drehverschluß können lösbare kraftschlüssige Verbindungen hergestellt werden. Die Neugestaltung des Haltenockens würde zu einer erheblichen Festigkeitssteigerung der Verbindung besonders bei dynamischer Belastung führen. Der Haltenocken könnte ohne die lange und indirekte Krafteinleitung in eines der zu verbindenden Bauteile integriert werden.

3.4.3 V Versuchsergebnisse für Druck-Druckverschlüsse

Zugversuch:

Die Kraft-Längungsdiagramme für die untersuchten Druck-Druckverschlüsse sind in dem Bild 46 dargestellt. Für die Probe 024 beträgt die maximal übertragbare Zugkraft 1,2 kN, für die Probe 019 erreicht diese einen Wert von 0,9 kN.

Die Probe 019 versagt ohne erkennbare Schäden durch das Wegklappen eines formschlüssigen Elementes. Dagegen kommt es bei der Probe 024 zur Beschädigung; der Bolzen reißt von der Grundplatte ab (Bild 47). Es ist hier deutlich das spröde Bruchbild zu erkennen.

Dauerschwingversuch:

Die Versagenskriterien im Dauerschwingversuch sind ähnlich denen des Zugversuches. Auch hier versagt die Probe 019 durch das Wegklappen des formschlüssigen Elementes, und bei der Probe 024

wird wiederum der Bolzen von der Grundplatte abgerissen. Zusätzlich bricht aber auch bei einigen der Druck-Druckverschlüsse der Bolzen selbst (Bild 48).

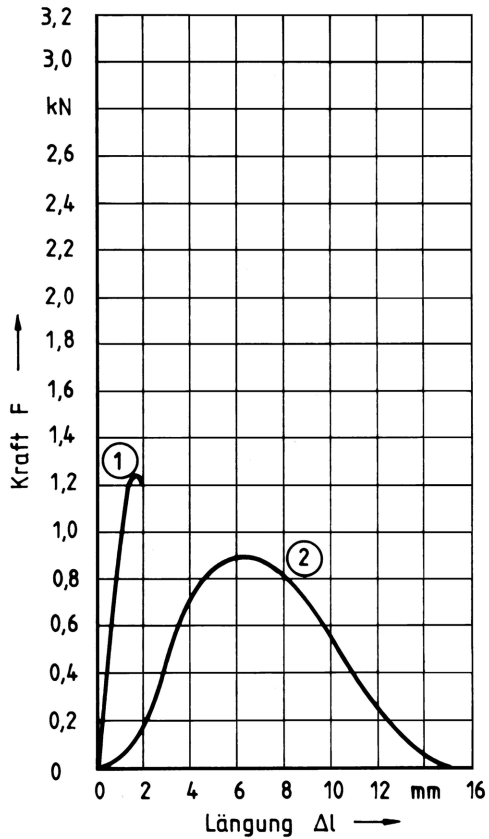


Bild 46: Kraft-Längungsdiagramm für Druck-Druckverschlüsse
(1 - Probe 024; 2 - Probe 019)

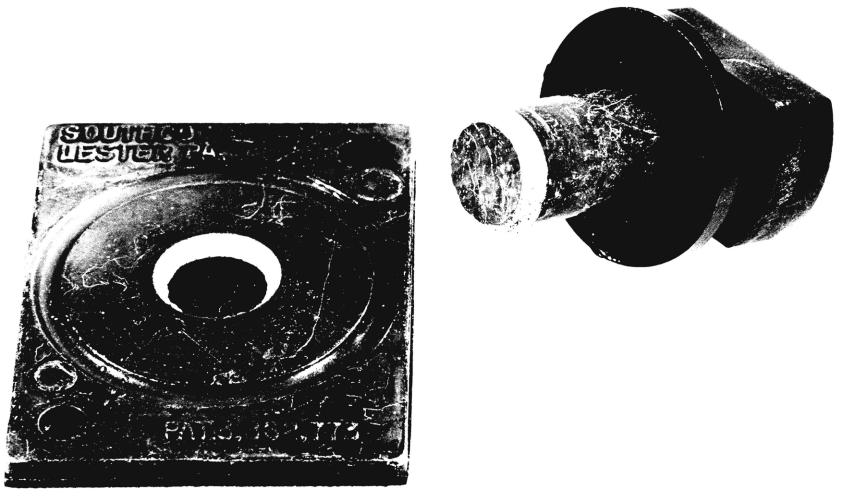


Bild 47: Druck-Druckverschluß (Probe 024) nach durchgeführtem Zugversuch, Versagen durch Ausbrechen des Bolzens aus der Grundplatte

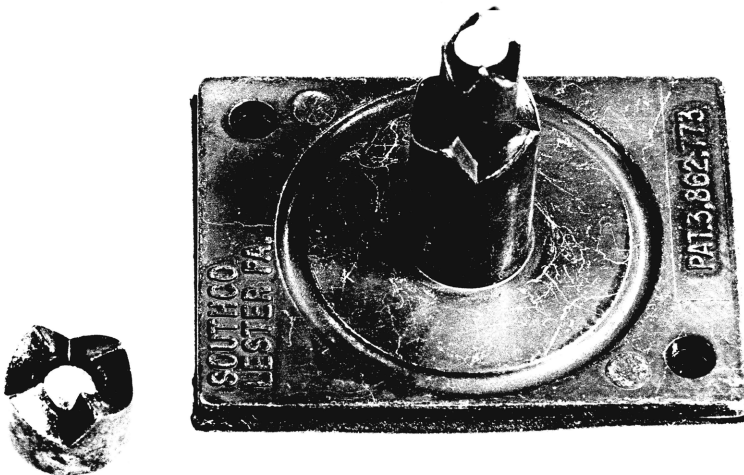


Bild 48: Druck-Druckverschluß (Probe 024) nach durchgeführtem Dauerschwingversuch, Versagen durch Bruch des Bolzens im oberen Bereich

Die ertragbaren dynamischen Belastungen in Abhängigkeit von der Überlebenswahrscheinlichkeit sind den Diagrammen der Bilder 49a, b dargestellt.

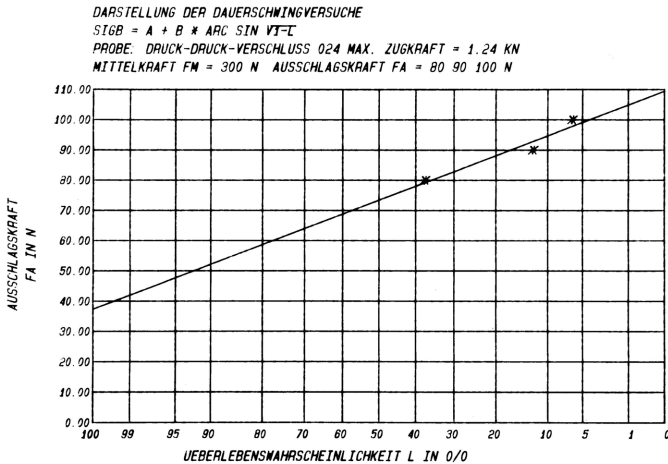


Bild 49a: Druck-Druckverschluß (Probe 024) -
Werkstoff: Stahl/Kunststoff

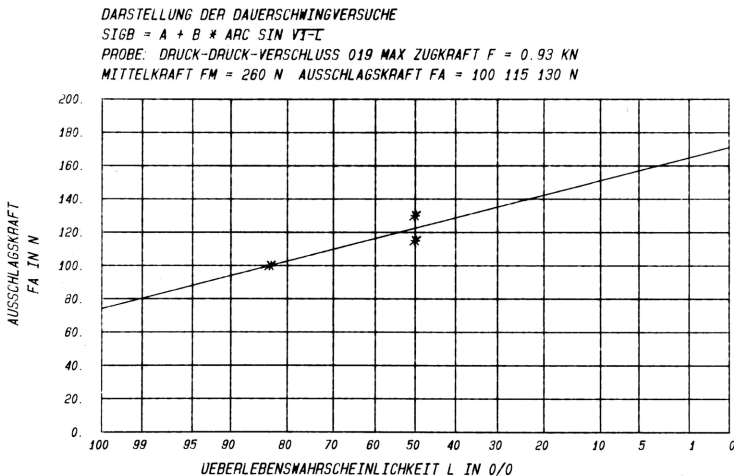


Bild 49b: Druck-Druckverschluß (Probe 019) - Werkstoff: Stahl

Bild 49a-b: Ausschlagskraft F_A in Abhängigkeit von der Überlebenswahrscheinlichkeit L für verschiedene Druck-Druckverschlüsse

Beurteilung: Druck-Druckverschluß

Die zwei Gestaltvarianten des Druck-Druckverschlusses lassen sich einfach mit geringem Kraftaufwand und ohne Werkzeug fügen und lösen.

Um die Tragfähigkeit der Probe 019 (Bild 14a) zu erhöhen, müßte der Sperrmechanismus, bestehend aus Feder, Kugel und Kerbe, für das erwähnte formschlüssige Element konstruktiv überarbeitet werden. Hierbei sollte vorgesehen werden, die Steifigkeit der Feder zu erhöhen und die Kerbe tiefer zu gestalten.

Bei der Probe 024 (Bild 14b) sollten die Übergänge zwischen Grundplatte und Bolzen sowie dem Abschlußstück und dem Bolzen kraftflußgünstiger gefertigt werden. Durch das Vermeiden von scharfkantigen Übergängen kann besonders das dynamische Tragverhalten von Bauteilen verbessert werden.

3.4.4 Versuchsergebnisse für Druck-Drehverschlüsse

Zugversuch:

In Bild 50 ist das Kraft-Längungsdiagramm für den Druck-Drehverschluß Probe 020 dargestellt. Die maximal übertragbare Zugkraft beträgt 2,4 kN. Beim Erreichen dieser Zugkraft wird das Biegefederpaar plastisch verformt und trägt dann noch einmal bis zum zweiten Kraftanstieg bis zu 2,2 kN. Der sich dabei einstellende Bruch ist in Bild 51 zu erkennen.

Dauerschwingversuch:

Im Dauerschwingversuch versagt der Federclip durch Ribildung und Bruch des Biegefederpaares an mehreren Stellen. In Bild 52 ist die Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Ausschlagskraft bei konstanter Mittelkraft dargestellt.

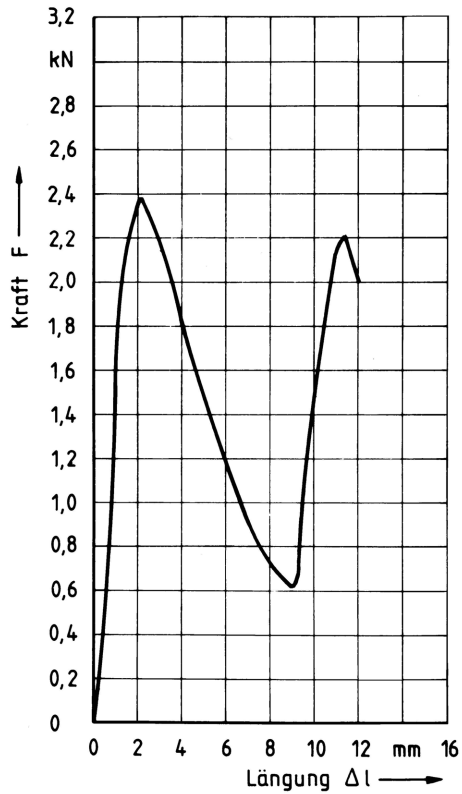


Bild 50: Kraft-Längungsdiagramm für den Druck-Drehverschluß (Probe 020)



Bild 51: Druck-Drehverschluß (Probe 020) nach durchgeführtem Zugversuch, Versagen durch plastisches Verformen und Bruch des Federclips

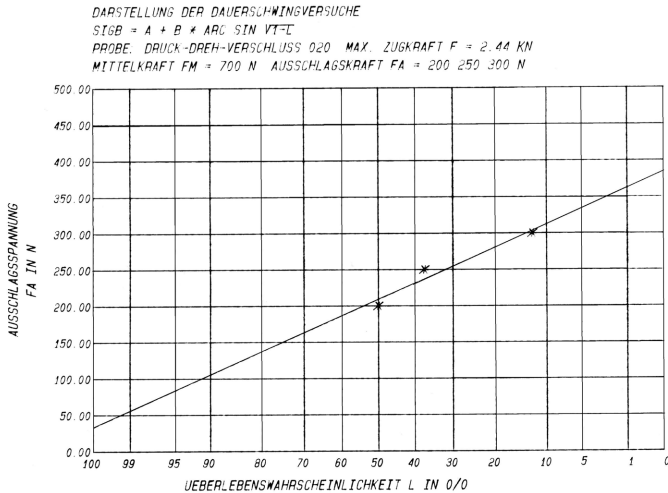


Bild 52: Ausschlagskraft F_A in Abhängigkeit von der Überlebenswahrscheinlichkeit L für den Druck-Drehverschluß (Probe 020)

Beurteilung: Druck-Drehverschluß

Der Druck-Drehverschluß Probe 020 läßt sich einfach und ohne Werkzeug von Hand fügen und mit einem Schraubendreher wieder lösen. Funktionsbedingt müssen die Federelemente biegeweich ausgelegt werden, um das einfache Ein- bzw. Ausrasten der formschlüssigen Elemente (Kerben) am Bolzen zu ermöglichen. Eine konstruktive Überarbeitung des Federelementes mit dem Ziel, die Tragfähigkeit in Axialrichtung des Verbindungselementes zu steigern, ist anzustreben.

3.4.5 Versuchsergebnisse für Bänder mit Schloß

Zugversuch:

Brüche der Proben 018 und 023 aus dem Zugversuch sind in den Bildern 53 und 54 zu sehen. An der jeweiligen Bruchstelle sind deutlich Einschnürungen und Längungen des Probenbereichs zu erkennen. Probe 018 weist zusätzlich Verformungen im gesamten Bandbereich auf.

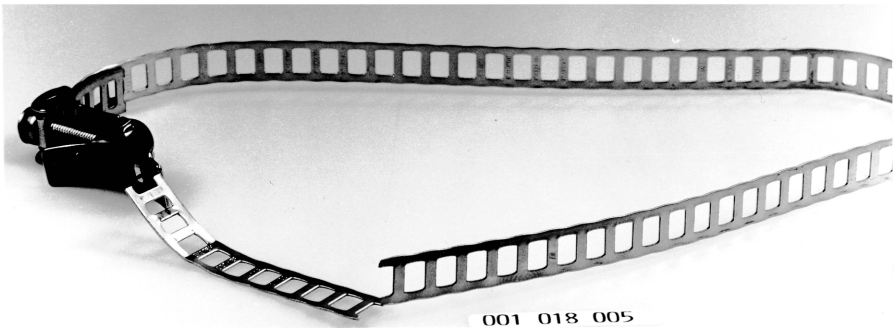


Bild 53: Versagenskriterien für das Stahlband mit Schloß durch Überschreiten der Zugfestigkeit
Probe 018: Einschnürung und Riß des Bandes

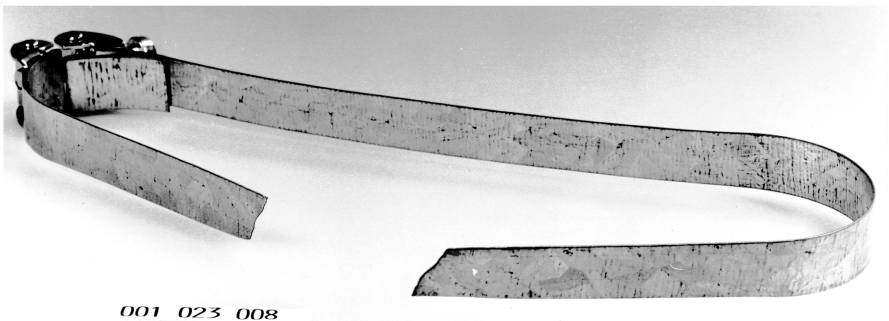


Bild 54: Versagenskriterien des Stahlband mit Schloß durch Überschreiten der Zugfestigkeit
Probe 023: Riß des Bandes

Das Stahlband 023 überträgt eine maximale Zugkraft von 4,4 kN, das Stahlband 018 eine Zugkraft von 3,1 kN (Bild 55).

Dauerschwingversuch:

Die Bilder 56a, b stellen die Meßergebnisse aus den Dauerschwingversuchen dar. Die Probe 018 überträgt bei 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit eine aus Mittelkraft F_M und Ausschlagskraft F_A zusammengesetzte Zugkraft von $F = 1,2 \pm 0,4$ kN, und die Probe 023 von $F = 1,5 \pm 0,6$ kN.

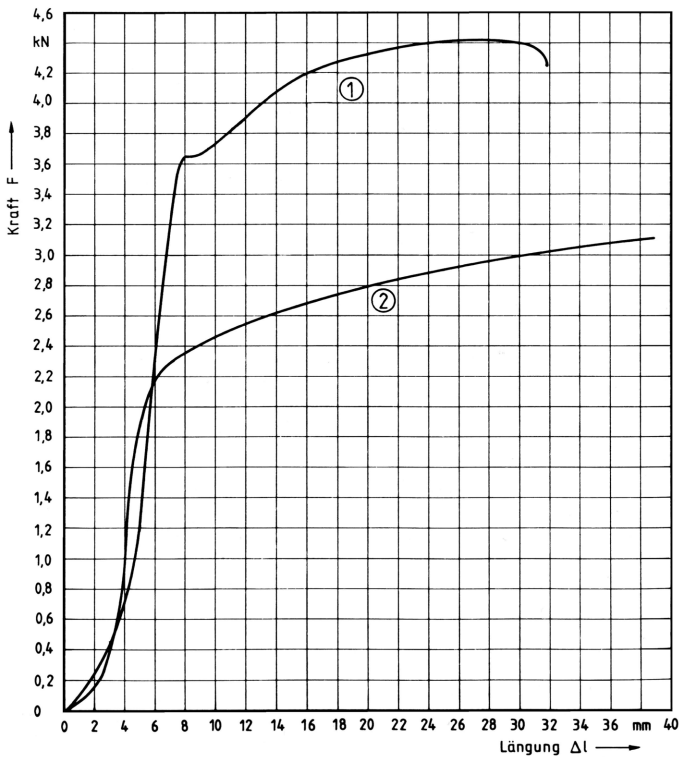


Bild 55: Kraft- Längungsdiagramm für Stahlbänder mit Schloß
1) Probe 023 2) Probe 018

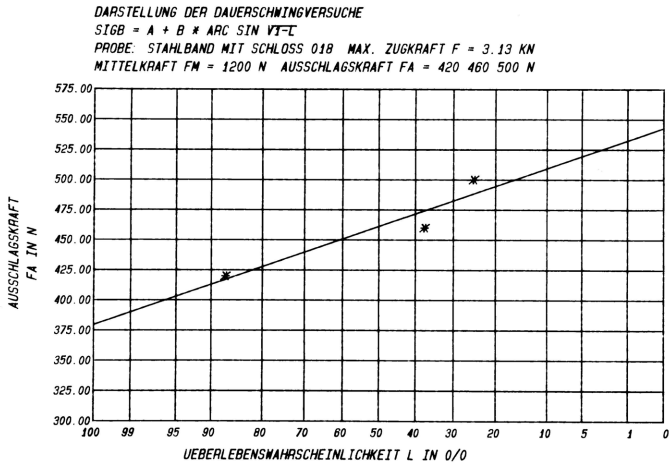


Bild 56a: Band mit Schloß (Probe 018)

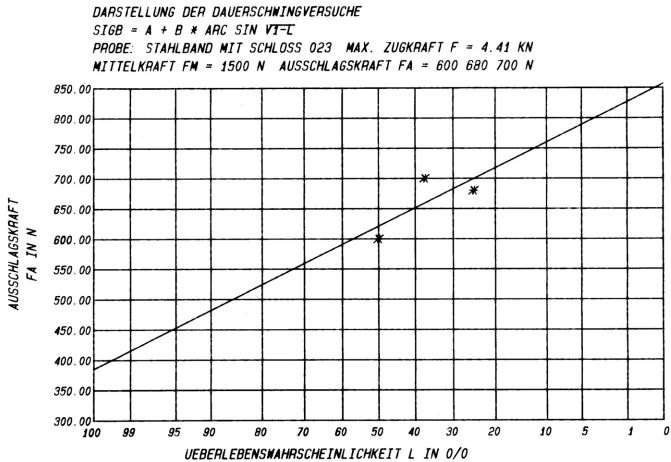


Bild 56b: Band mit Schloß (Probe 023)

Bild 56a,b: Ausschlagskraft F_A in Abhängigkeit von der Überlebenswahrscheinlichkeit L für Stahlbänder mit Schloß

Die Bruchbilder aus den Dauerschwingversuchen weisen für beide Proben Einschnürungen an den Bruchstellen auf. An den sogenannten Schlössern sind keine erkennbaren Beschädigungen aufgetreten.

In den Bereichen größten Schlupfes zwischen Stahlband und Probenaufnahme sind Abrieberscheinungen an der Innenfläche des Bandes zu erkennen.

Beurteilung: Band mit Schloß

Das Stahlband mit Schloß überträgt zuverlässig statische und dynamische Zugkräfte. Es läßt sich einfach um die zu verbindenden Bauteile herumschlingen, um diese kraftschlüssig miteinander zu verbinden. In den Bereichen größten Schlupfes sollten geeignete Maßnahmen getroffen werden, um Abrieb am Bauteil und Verbindungselement besonders bei dynamischer Belastung zu verhindern. Hier wären weiche Unterlagen oder Schmierstoffe zwischen dem Band und dem zu verbindenden Bauteil hilfreich.

Um die Verbindung durch Zerstören des Verbindungselementes zu trennen, kann das Band mit einem Stahlbandschneider (Bild 4a) einfach getrennt werden.

3.4.6 Versuchsergebnisse für Klettverschlüsse

Zugversuch:

Im Zugversuch ist der Klettverschluß bei Probe 021 (Bild 17a) auf Scherkräfte und bei der Probe 022 (Bild 17b) auf Normalkräfte, also Kräfte senkrecht zum flächenhaften Verbindungselement, belastet worden. Beide Proben wurden dabei ohne erkennbare Schäden getrennt.

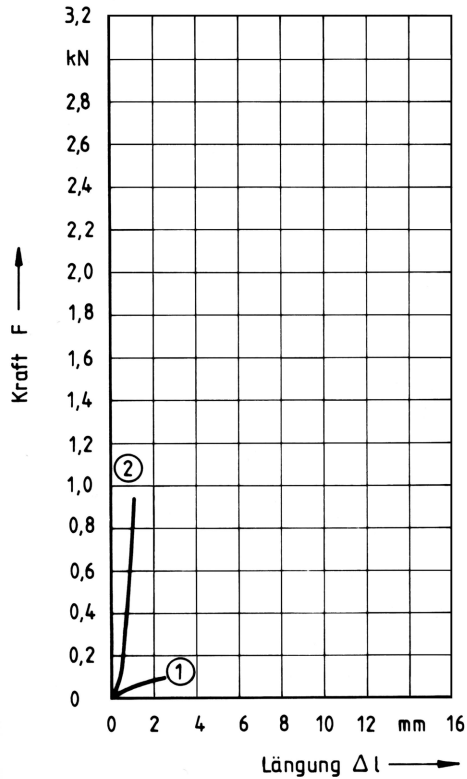


Bild 57: Kraft-Längungsdiagramm für Klettverschlüsse

- 1) Probe 021, durch Scherkräfte belastet
- 2) Probe 022, durch Normalkräfte belastet

Die maximal übertragbare Scherkraft für die Probe 021 beträgt 0,1 kN, die maximale Normalkraft für Probe 022 etwa 0,9 kN (Bild 57). Der Klettverschluß Probe 022 löst sich schlagartig. Beim Klettverschluß Probe 021 gleiten bis zum vollständigen Lösen zunächst die formschlüssigen Elemente aneinander ab. Man kann hierbei deutlich beobachten, wie die sich jeweils gegenüberliegenden pilzförmigen Stifte zur Seite verbiegen und dann aneinander vorbeigleiten.

Dauerschwingversuch:

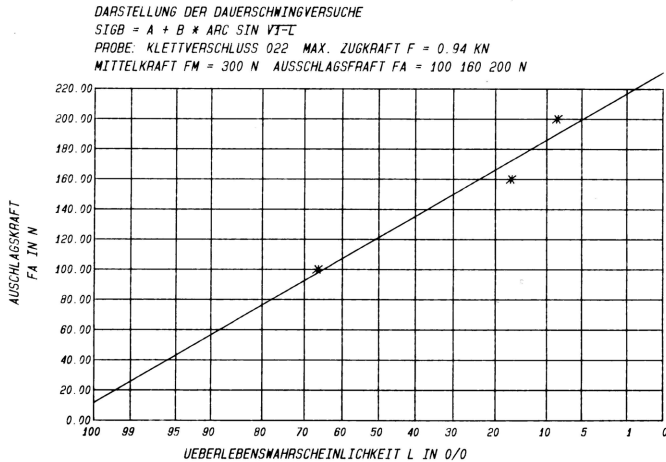


Bild 58: Ausschlagskraft F_A in Abhängigkeit von der Überlebenswahrscheinlichkeit L für den Klettverschluß (Probe 022) unter Normalkraft-Belastung

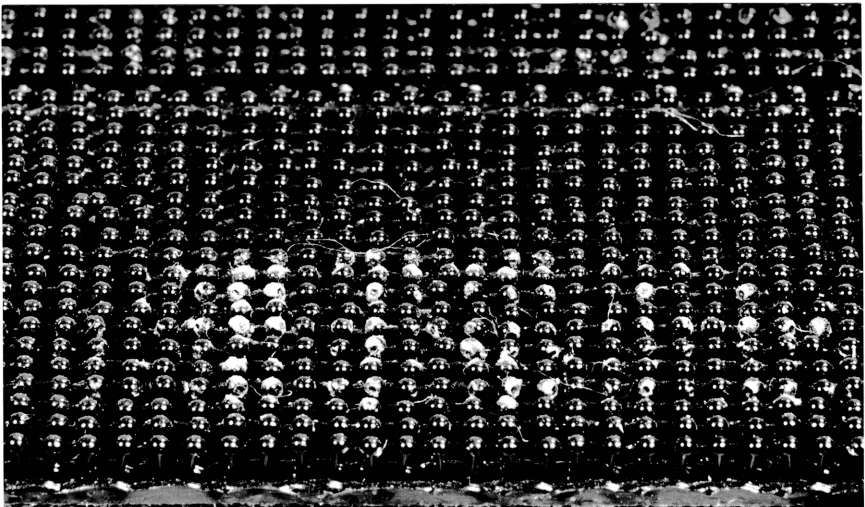


Bild 59: Klettverschluß (Probe 022) nach durchgeführtem Dauerschwingversuch mit Abrieb (helle Bereiche) an den formschlüssigen Elementen

Nach Dauerschwingbelastungen der Probe 022 (Bild 58) sind deutliche Abrieberscheinungen (Bild 59) an den formschlüssigen Elementen des Klettverschlusses zu erkennen. Der Abrieb lagert sich als weißer staubähnlicher Belag auf den formschlüssigen Elementen ab.

Spannungsrelaxationsversuch:

Spannungsrelaxationsversuche mit den Klettverschlüssen, bei denen die Proben mit bestimmten Vorspannkraften am Anfang des Versuches belastet und die Abnahme der Vorspannkraft in Abhängigkeit von der Zeit gemessen wurden, zeigten ein für Bauteile aus Termoplasten typische Verhalten: Bei den Proben nimmt die Vorspannkraft je nach Anfangsbedingungen schon nach wenigen Minuten ab. Der Vorspannkraftverlust beträgt nach 20 Stunden bei der Probe 021 zwischen 10 % bis 50 % (Bild 60) und bei der Probe 022 zwischen 20 % bis 30 % (Bild 61).

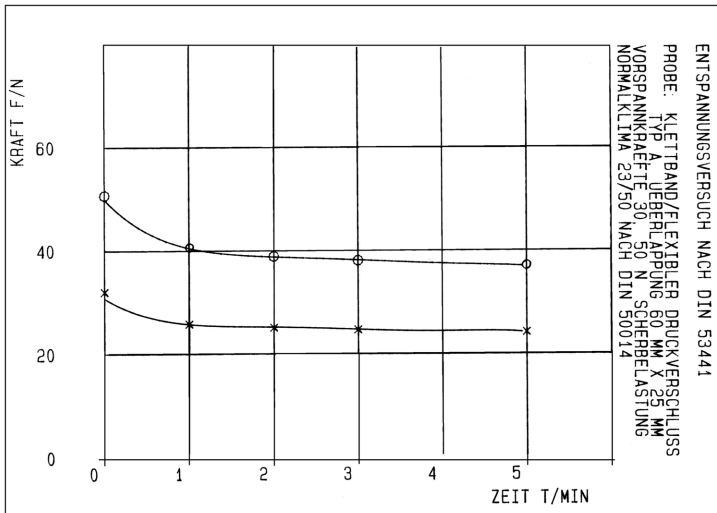


Bild 60a: Verhalten des Klettverschlusses (Probe 021) im Entspannungsversuch bis 5 Minuten Belastungsdauer

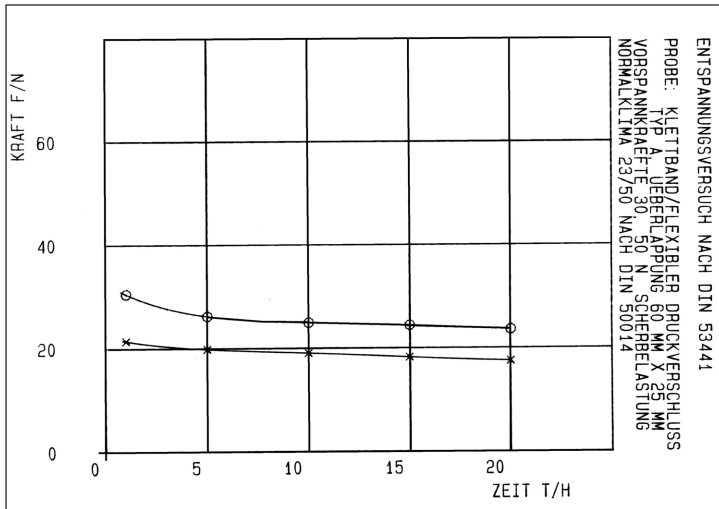


Bild 60b: Verhalten des Klettverschlusses (Probe 021) im Entspannungsversuch bis 20 Stunden Belastungsdauer

Bild 60a, b: Änderung der Vorspannkraft F_V ($t=0$) in Abhängigkeit von der Belastungszeit t für den Klettverschluß unter Scherbelastung (Probe 021)

Zeitstandzugversuch:

Die Längenänderung in Abhängigkeit von der Belastungshöhe und Belastungszeit wurde in Zeitstand-Zugversuchen nach DIN 53444 /27/ gemessen. Je vier Klettverschlüsse der Probe 022 wurden bei konstanter Zugkraft über eine Zeit von 500 Stunden belastet. Die Mittelwerte der Meßergebnisse sind in dem Diagramm Bild 62 zu sehen. Bei der konstanten Zugkraft von 370 N lösen sich zum Teil Klebestellen zwischen der Probe und den Aufnahmeplatten. Nach 20 Stunden haben sich dann die formschlüssigen Elemente voneinander gelöst.

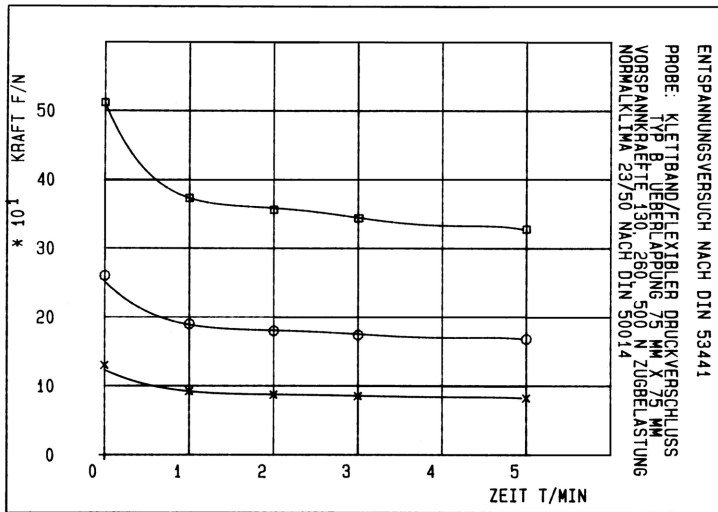


Bild 61a: Verhalten des Klettverschlusses (Probe 022) im Entspannungsversuch bis 5 Minuten Belastungsdauer

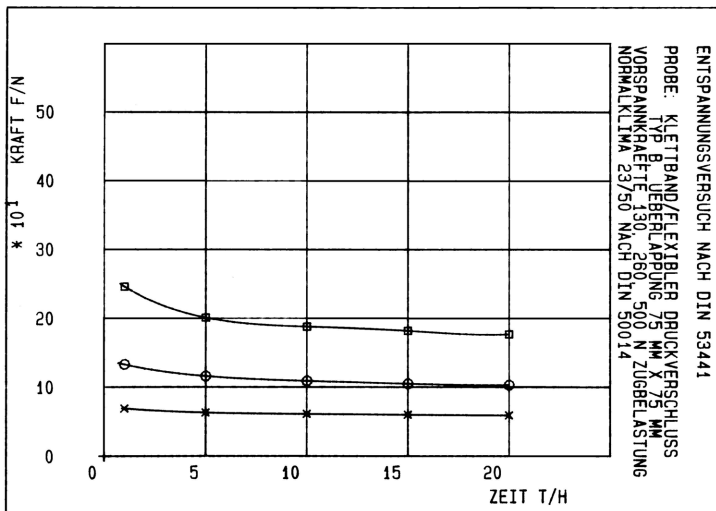


Bild 61b: Verhalten des Klettverschlusses (Probe 022) im Entspannungsversuch bis 20 Stunden Belastungsdauer

Bild 61a, b: Änderung der Vorspannkraft F_v ($t=0$) in Abhängigkeit von der Belastungszeit für den Klettverschluß unter Normalbelastung (Probe 022)

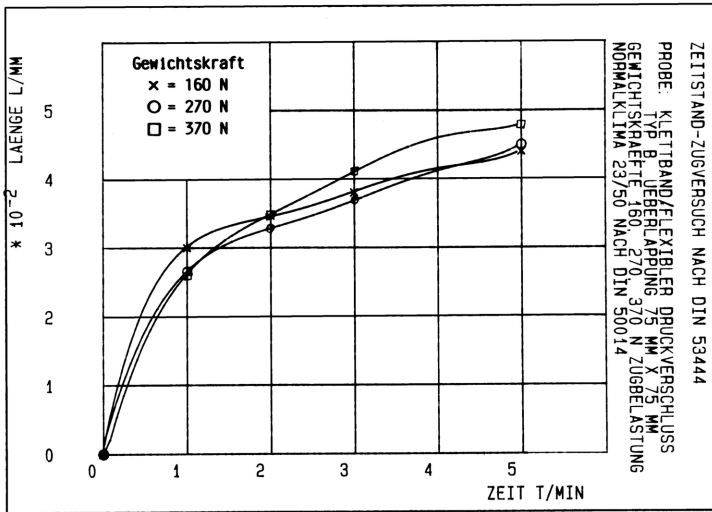


Bild 62a: Verhalten des Klettverschlusses (Probe 022) im Zeitstandzugversuch bis 5 Minuten Belastungsdauer

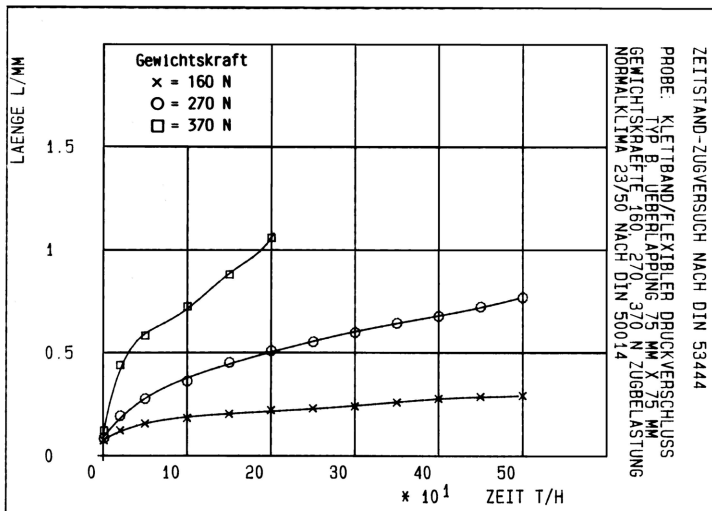


Bild 62b: Verhalten des Klettverschlusses (Probe 022) im Zugversuch bis 500 Stunden Belastungsdauer

Bild 62a, b: Längenänderung Δl in Abhängigkeit von der Belastungszeit t bei verschiedenen Gewichtskräften F_G für den Klettverschluß unter Normalbelastung

Bei den niedrigen Laststufen ($F_1 = 160 \text{ N}$, $F_2 = 270 \text{ N}$) stellen sich nach 500 Stunden Längenänderungen von 0,3 mm bzw. 0,8 mm ein.

Beurteilung: Klettverschlüsse

Die untersuchten Klettverschlüsse lassen sich durch Andrücken von Hand einfach fügen und durch eine Schälbewegung mit geringem Kraftaufwand wieder lösen. Zur Übertragung von Querkraften sind die untersuchten Gestaltvarianten weniger geeignet. Normalkräfte werden, wenn die Anschlußkonstruktion steif ist und die Zugkräfte gleichmäßig flächenhaft verteilt sind, gut übertragen.

Klettverschlüsse aus thermoplastischen Werkstoffen sind im allgemeinen als Verbindungsglied in einer kraftschlüssigen Verbindung, bei der die Vorspannkraft über die Gebrauchsdauer konstant sein soll, aufgrund des Relaxationsverhaltens nicht geeignet. Die Klebeverbindung zwischen Probe und Anschlußkonstruktion ist bei Langzeitbelastung eine wesentliche Schwachstelle der Verbindung.

3.4.7 Versuchsergebnisse für Schrauben mit Muttern

Zugversuch:

In Zugversuchen (in Anlehnung an DIN 53455 /29/) wurden die Kunststoffschrauben/-muttern im Anlieferungszustand bei den konstanten Abzugsgeschwindigkeiten von $V_1 = 5 \text{ mm/min}$ (ISO 527 - 1976 Speed B) und $V_2 = 500 \text{ mm/min}$ (ISO 527 - 1976 Speed H) bis zum Versagen des Verbindungselements belastet.

Ein Teil der Proben wurde vier Monate in einem klimatisierten Raum (relative Luftfeuchte 50 %, Temperatur 23°C /23/) gelagert.

Um den Einfluß vom Wassergehalt der Proben auf die Tragfähigkeit untersuchen zu können, wurden Proben aus PA 6.6, PA 6.6-GF und PE konditioniert, d. h. die Proben wurden vor dem Zugversuch drei Monate in destilliertem Wasser eingelegt.

Bei allen durchgeführten Versuchen mit Schrauben und Muttern betrug die Klemmlänge zu Beginn des Versuchs $L_K = 70$ mm.

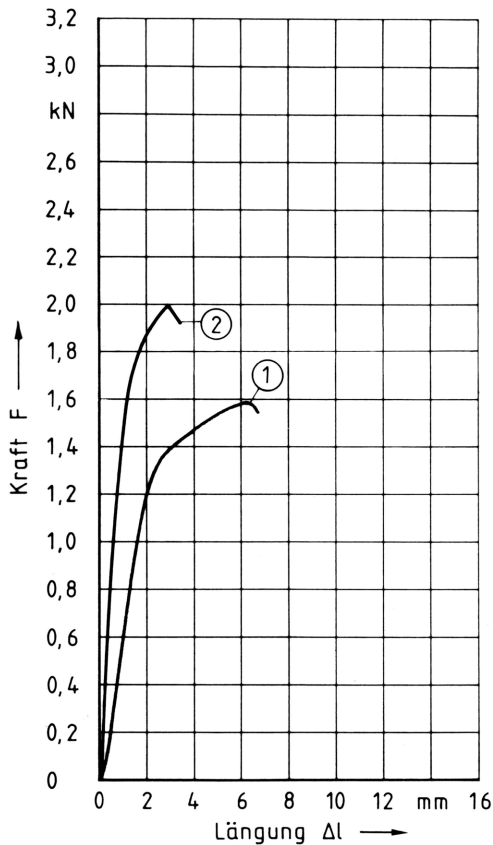


Bild 63a: Erläuterungen - siehe Bildunterschrift auf der nächsten Seite

Bei niedrigen Abzugsgeschwindigkeiten (Speed B) kommt es beim Probenotyp 014 zu plastischen Verformungen in den tragenden Gewindegängen der Schraube und Mutter. Der anschließende Bruch im Bereich des letzten tragenden Gewindeganges führt dann zum endgültigen Versagen der Verbindung.

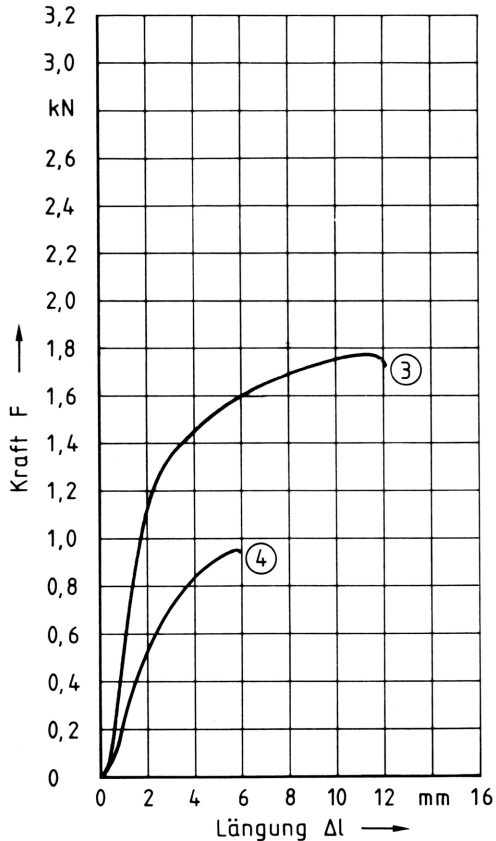


Bild 63b:

Bild 63a, b: Kraft-Längungsdiagramm für Schraube/Mutter
PA 6.6 (Probe 014)
1 - Anlieferungszustand, $V = 5 \text{ mm/min}$
2 - Anlieferungszustand, $V = 500 \text{ mm/min}$
3 - Klimatisiert, $V = 5 \text{ mm/min}$
4 - Konditioniert, $V = 5 \text{ mm/min}$

Hohe Abzugsgeschwindigkeiten (Speed H) führen zu unterschiedlichen Versagensarten, wie Brüche an verschiedenen Stellen und plastische Verformung der tragenden Gewindeflanken. Bei Zunahme des Wassergehaltes der PA 6.6 Probe nimmt die übertragbare Zugkraft erheblich ab. Im konditionierten Zustand beträgt diese $F = 0,95 \text{ kN}$. In dem Bild 63 sind die Kraft-Längungsdiagramme für Probe 014 dargestellt.

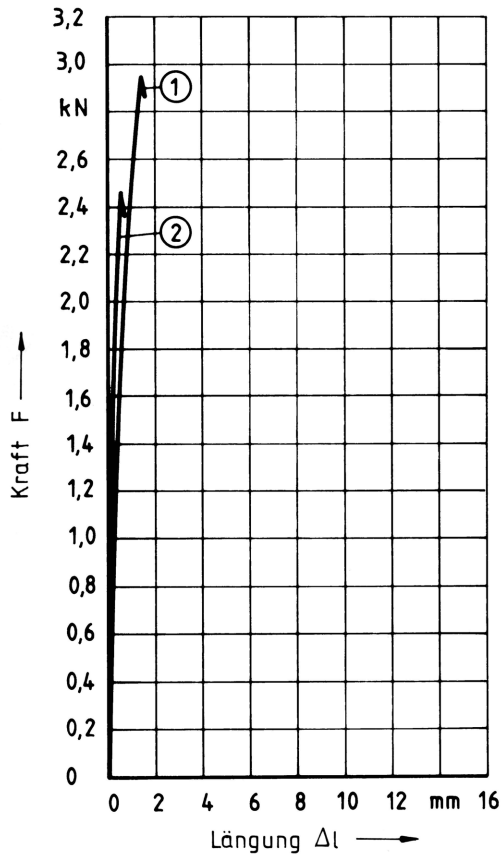


Bild 64a: Erläuterungen - siehe Bildunterschrift auf der nächsten Seite

Bei den glasfaserverstärkten PA 6.6 Schrauben und Muttern (Probe 007) betragen die maximal übertragbaren Zugkräfte $F_1 = 2,95 \text{ kN}$ (Speed B) und $F_2 = 2,45 \text{ kN}$ (Speed H) (Bild 64). Auch bei den glasfaserverstärkten Proben führt die Zunahme des Wassergehalts zur Schwächung der Probe. Die maximale Zugkraft sinkt auf $1,75 \text{ kN}$. Die Versagensart bei Probe 007 ist bei allen Zugversuchen Gewindebruch in den ersten tragenden Gewindegängen.

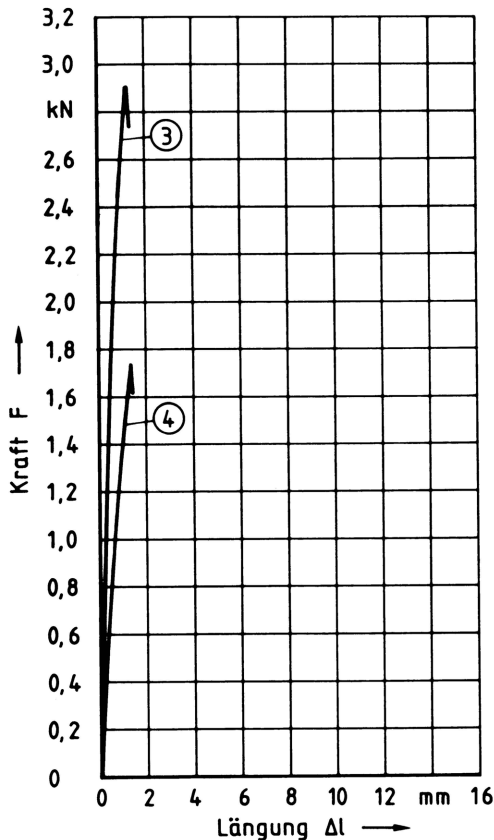


Bild 64b:

Bild 64a, b:

Kraft-Längungsdiagramm für Schraube/Mutter
PA 6.6-GF (Probe 007)

- 1 - Anlieferungszustand, $V = 5 \text{ mm/min}$
- 2 - Anlieferungszustand, $V = 500 \text{ mm/min}$
- 3 - Klimatisiert, $V = 5 \text{ mm/min}$
- 4 - Konditioniert, $V = 5 \text{ mm/min}$

Die Kraft-Längungsdiagramme für die PE-Kunststoffschrauben sind in Bild 65 dargestellt. Bei beiden Abzugsgeschwindigkeiten überträgt die Probe 025 die gleiche maximale Zugkraft von ca. 1,4 kN. Bei den konditionierten Proben nimmt die maximale Zugkraft um ca. 30% auf 1,0 kN ab. Es kommt zum Abscheren der Gewindeflanken im tragenden Gewindebereich und zu starken plastischen Verformungen der Oberflächen.

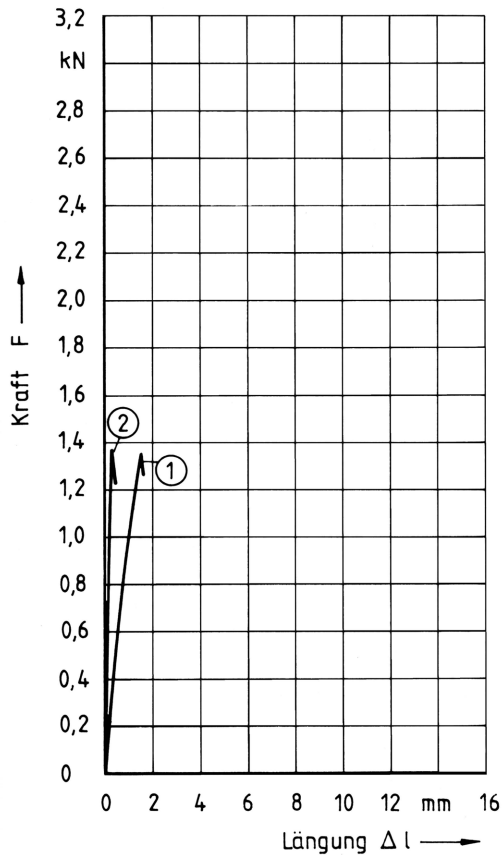


Bild 65a: Erläuterung - siehe Bildunterschrift auf der nächsten Seite

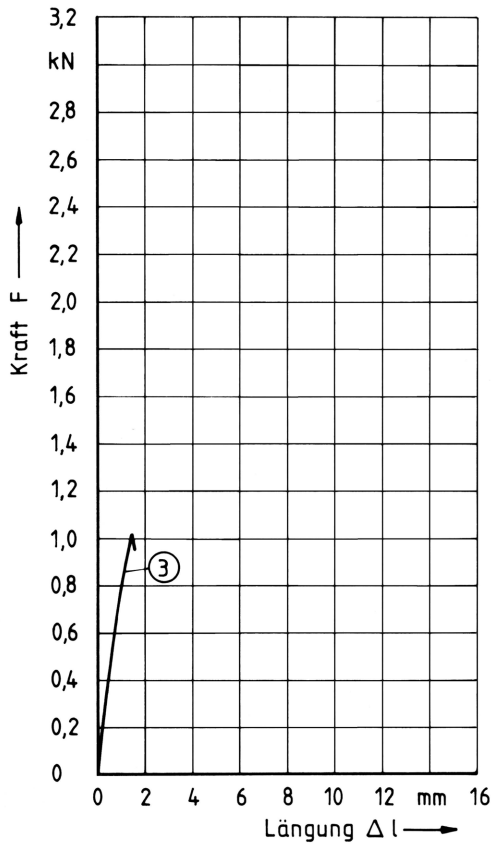


Bild 65b:

Bild 65a, b:

Kraft-Längungsdiagramm für Schraube/Mutter
PE/PA 6.6 (Probe 025)

- 1 - Anlieferungszustand, $V = 5 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$
- 2 - Anlieferungszustand, $V = 500 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$
- 3 - Konditioniert, $V = 5 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$

Dauerschwingversuch:

Je zehn Proben Schrauben/Muttern der Probe 014 wurden in Dauerschwingversuchen bei vier verschiedenen Laststufen, die sich aus einer konstanten Mittelkraft $F_M = 0,50$ kN und vier verschiedenen Ausschlagskräften $F_A = 0,24$ kN, $F_{A2} = 0,26$ kN, $F_{A3} = 0,28$ kN und $F_{A4} = 0,30$ kN zusammensetzen, schwingend bis zu einer maximalen Grenzlastspielzahl von zehn Millionen Lastspiele belastet. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe der $\arcsin \sqrt{V}$ Transformation /18/.

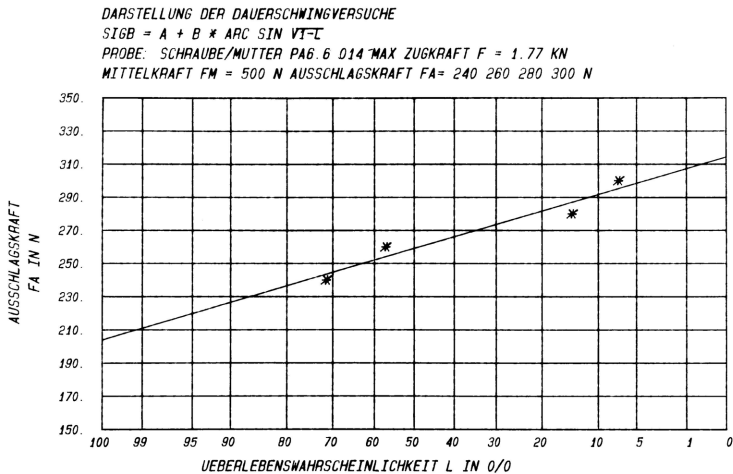


Bild 66: Ausschlagskraft F_A in Abhängigkeit von der Überlebenswahrscheinlichkeit L für Schraube/Mutter PA 6.6 (Probe 014)

Dem Bild 66 ist u. a. zu entnehmen, daß bei einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 50 % die Probe eine schwingende Belastung von 0,50 kN +/- 0,26 kN erträgt. Brüche treten bei dynamischer Belastung in den ersten tragenden Gewindegängen oder im Bereich der Auswerfer-Abdrücke auf. Die Auswerfer-Abdrücke sind in Bild 18 als Senkungen mit 2,0 mm Durchmesser und 1,4 mm Tiefe dargestellt.

Spannungsrelaxationsversuch:

In Spannungsrelaxationsversuchen (in Anlehnung an DIN 53441) /27/ zeigte sich das typische Verhalten von Werkstücken aus Polyamid und Polyäthylen. Die anfangs eingestellte Vorspannkraft nimmt in den ersten fünf Minuten je nach Belastung und Werkstoff stark ab (Bilder 67, 68, 69). Nach 20 Stunden beträgt der Vorspannkraftverlust bei einer anfangs gewählten Vorspannung von $F_V \text{ Anfang} = 0,5 \text{ kN}$ für die PA 6.6 Probe (014) um 40 %, für die PA 6.6-GF Probe (007) um 20 % und für die PE/PA 6.6 Probe (025) um 60 %.

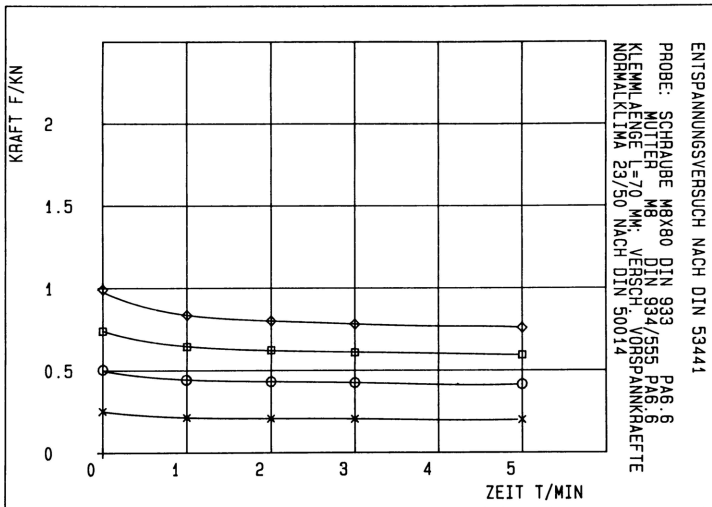


Bild 67a: Verhalten der Schraube/Mutter (Probe 014) im Entspannungsversuch bis 5 Minuten Belastungsdauer

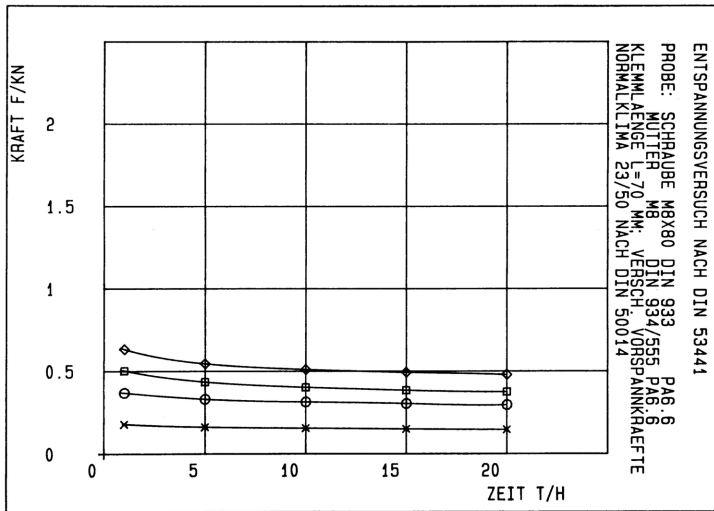


Bild 67b: Verhalten der Schraube/Mutter (Probe 014) im Entspannungsversuch bis 20 Stunden Belastungsdauer

Bild 67a, b: Änderung der Vorspannkraft F_V ($t = 0$) in Abhängigkeit von der Belastungszeit t für Schraube/Mutter PA 6.6 (Probe 014)

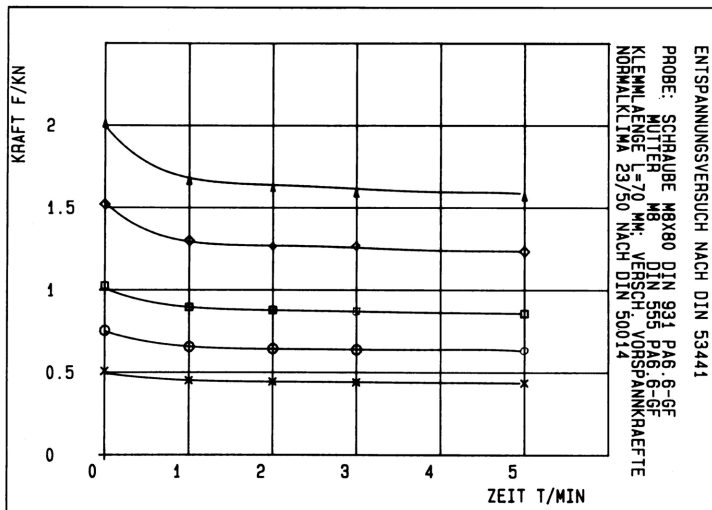


Bild 68a: Verhalten der Schraube/Mutter (Probe 007) im Entspannungsversuch bis 5 Minuten Belastungsdauer

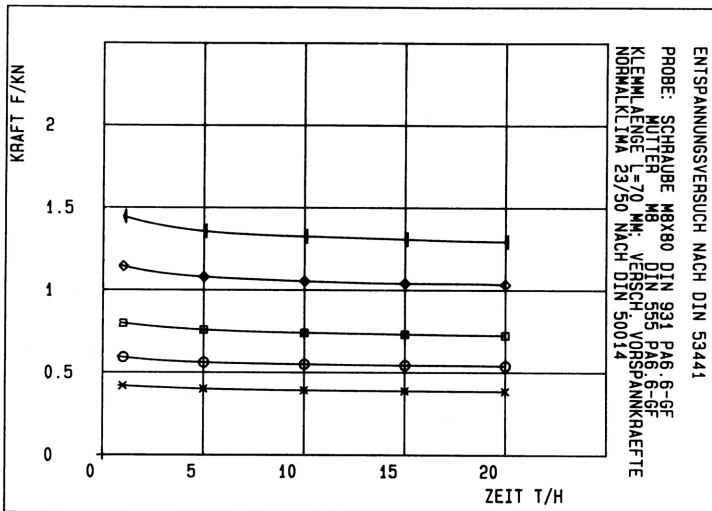


Bild 68b: Verhalten der Schraube/Mutter (Probe 007) im Entspannungsversuch bis 20 Stunden Belastungsdauer

Bild 68a, b: Änderung der Vorspannkraft F_V ($t = 0$) in Abhängigkeit von der Belastungszeit t für Schraube/Mutter PA 6.6 - GF (Probe 007)

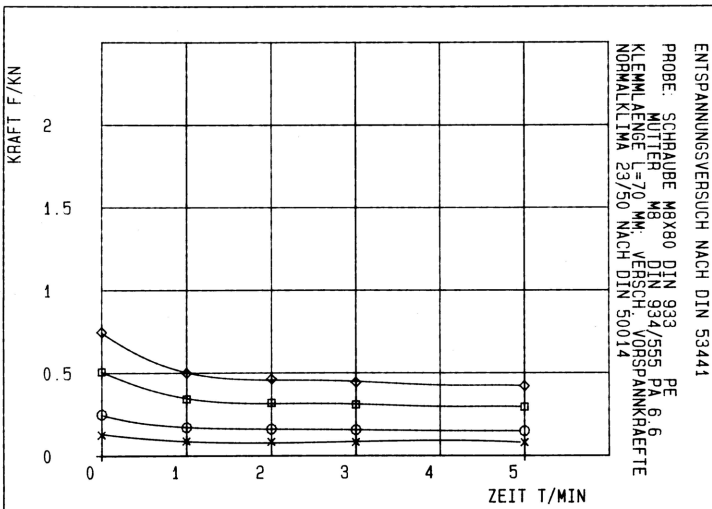


Bild 69a: Verhalten der Schraube/Mutter (Probe 025) im Entspannungsversuch bis 5 Minuten Belastungsdauer

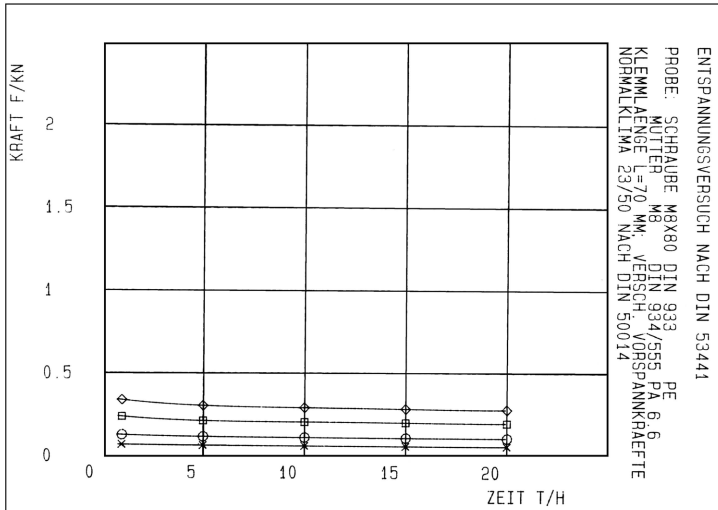


Bild 69b: Verhalten der Schraube/Mutter (Probe 025) im Entspannungsversuch bis 20 Stunden Belastungsdauer

Bild 69a, b: Änderung der Vorspannkraft F_V ($t = 0$) in Abhängigkeit von der Belastungszeit t für die Schraube/Mutter PE/PA (Probe 025)

Zeitstandzugversuch:

In Zeitstandzugversuchen (in Anlehnung an DIN 53444 /27/) wurde die Längung der Proben in Abhängigkeit von der Belastungszeit für die Kunststoffschrauben/-muttern bestimmt. Die Versuchsergebnisse sind in den Bildern 70, 71 und 72 zu sehen.

Nach 500 Stunden Belastungszeit weisen die glasfaserverstärkten Proben geringe, die Polyamid- und Polyäthylenproben große Verformungen auf. Bei konstanter Belastung von 0,64 kN Zugkraft beträgt die Längenänderung für die PA 6.6 Probe 2,2 mm und für die PA 6.6-GF Probe 0,1 mm. Die Probe aus PE/PA 6.6 wird bei einer Zugbelastung von 0,500 kN nach 500 Stunden um 1,6 mm gelängt.

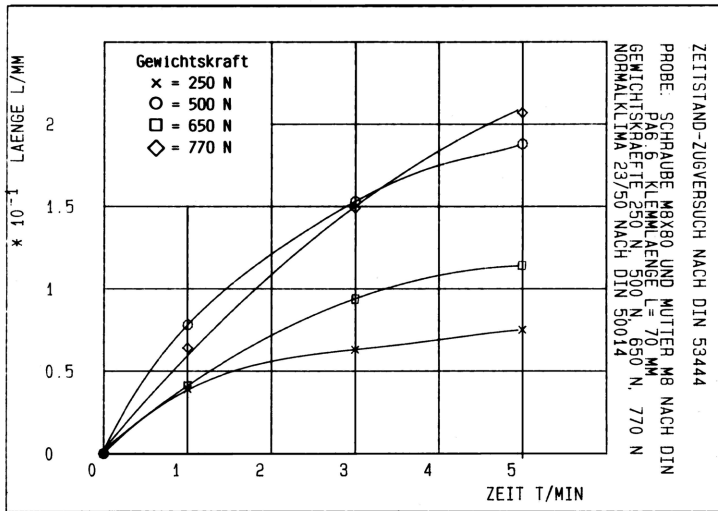


Bild 70a: Verhalten der Schraube/Mutter (PA 6.6/PA 6.6) im Zeitstandzugversuch bis 5 Minuten Belastungsdauer

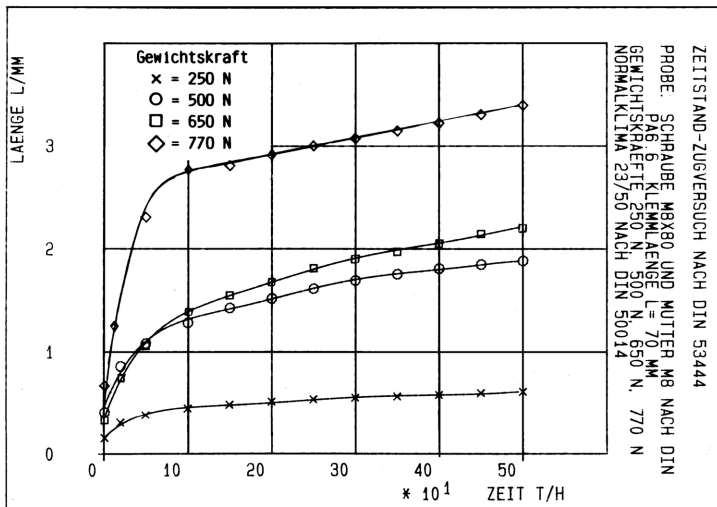


Bild 70b: Verhalten der Schraube/Mutter (PA 6.6/PA 6.6) im Zeitstandzugversuch bis 500 Stunden Belastungsdauer

Bild 70a, b: Längenänderung Δl in Abhängigkeit von der Belastungszeit t bei verschiedenen Gewichtskräften F_G für Schraube/Mutter PA 6.6 (Probe 014)

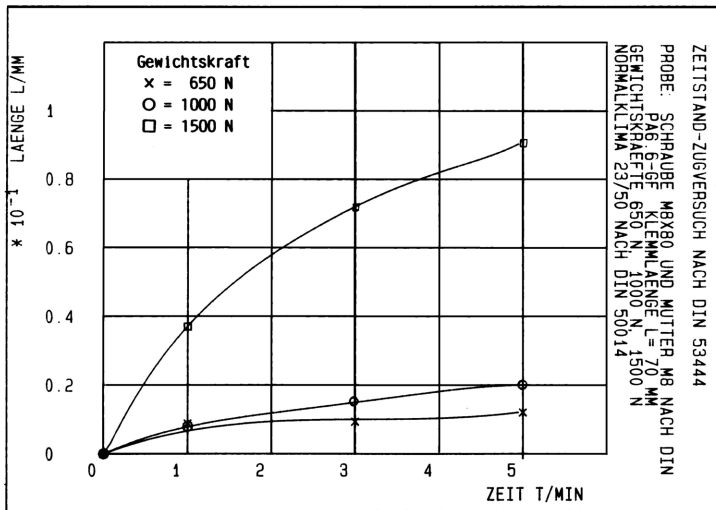


Bild 71a: Verhalten der Schraube/Mutter (PA 6.6 GF/PA 6.6 GF) im Zeitstandzugversuch bis 5 Minuten Belastungsdauer

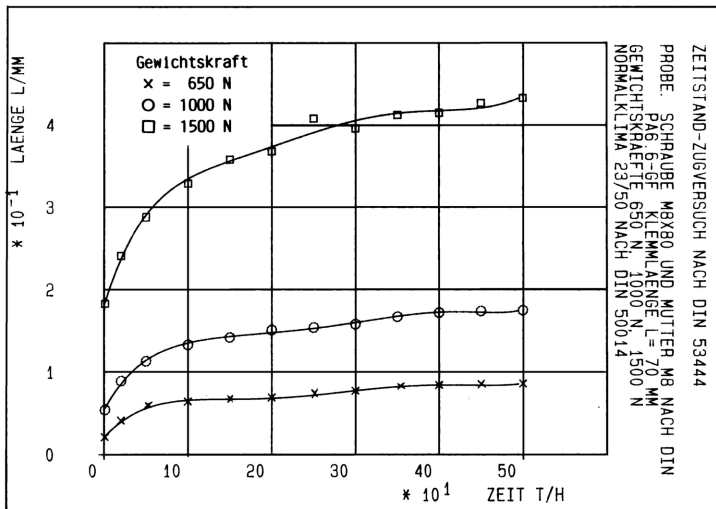


Bild 71b: Verhalten der Schraube/Mutter (PA 6.6 GF/PA 6.6 GF) im Zeitstandzugversuch bis 500 Stunden Belastungsdauer

Bild 71a, b: Längenänderung Δl in Abhängigkeit von der Belastungszeit t bei verschiedenen Gewichtskräften F_G Schraube/Mutter PA 6.6 - GF (Probe 007)

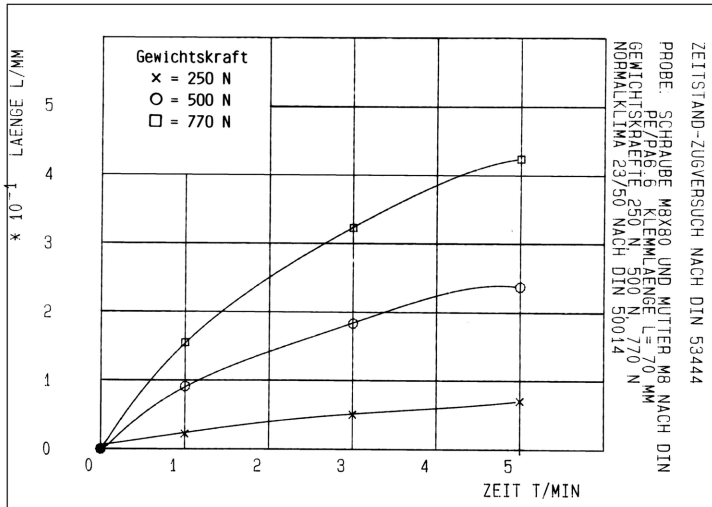


Bild 72a: Verhalten der Schraube/Mutter (PE/PA 6.6) im Zeitstandzugversuch bis 5 Minuten Belastungsdauer

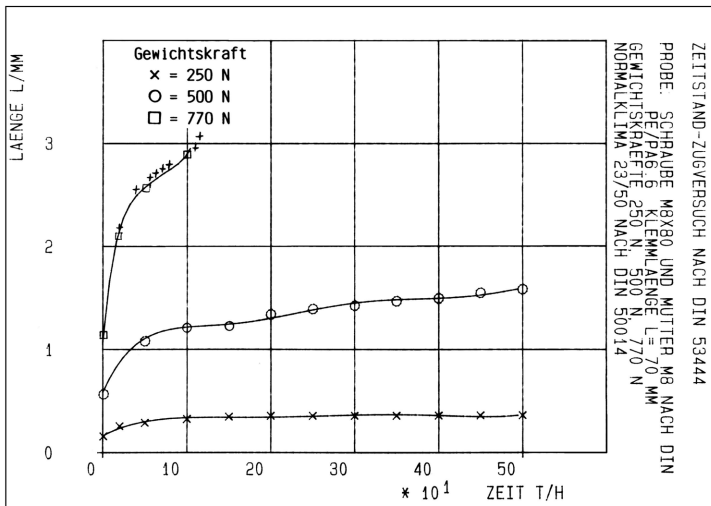


Bild 72b: Verhalten der Schraube/Mutter (PE/PA 6.6) im Zeitstandzugversuch bis 500 Stunden Belastungsdauer

Bild 72a, b: Längenänderung Δl in Abhängigkeit von der Belastungszeit bei verschiedenen Gewichtskräften F_G für Schraube/Mutter PE/PA 6.6 (Probe 025)

Dynamischer Füge/Löseversuch:

Die Untersuchungen des dynamischen Füge/Löseverhaltens wurden mit zwei verschiedenen Probentypen durchgeführt, der Kunststoffschraube/-mutter aus PA 6.6 (Probe 014) und der Stahlschraube/-mutter der Festigkeitsklasse 8.8 (Probe 027). Für die Versuche mit Stahlschrauben/-muttern wurden drei verschiedene Belastungszustände ausgewählt:

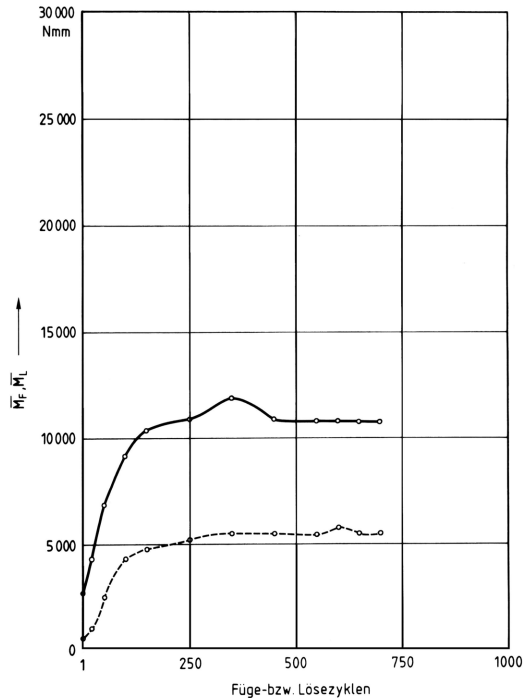
- a) Proben im Anlieferungszustand,
- b) Proben gereinigt (von Fett- und Öelschichten) und
- c) Proben gereinigt und geschmiert.

Die Schrauben mit Muttern wurden dann bei vier verschiedenen Vorspannkräften zwischen ca. 3,0 kN und 9,0 kN Füge- bzw. Lösevorgänge bis zu 1000 Mal wiederholt. Die Änderung des Füge- bzw. Lösemoments in Abhängigkeit von der Vorspannkraft und den Füge/Lösezyklen wurde gemessen (Bilder 73, 74, 75). Es zeigt sich das günstige Füge/Löseverhalten bei geschmierten Flanken und geringer Vorspannkraft. Hierbei verläuft das Füge- und das Lösemoment fast konstant über die ersten 1000 Zyklen (Bild 75a).

Bei schlechten Schmierverhältnissen, wie beim Anlieferungszustand (Bilder 73a, b, c, d) oder im gereinigten Zustand der Proben und hohen Vorspannkräften (Bild 74a, b, c, d), steigen die erforderlichen Füge- bzw. Lösemomente schon sehr schnell nach 10 bis 100 Zyklen um 30 % bis 300 % an.

Mit der PA 6.6-Probe 014 wurden dynamische Füge/Löseversuche bei der Vorspannkraft $F_V = 0,315 \text{ kN}$ und zwei verschiedenen Behandlungszuständen der Flanken durchgeführt:

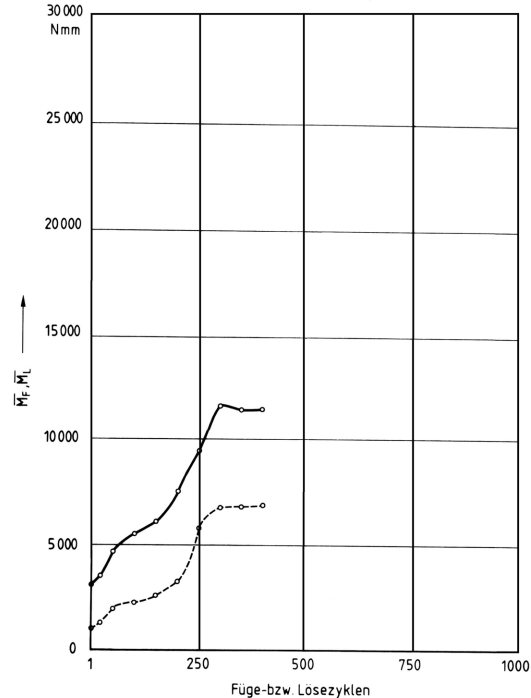
- a) Proben im Anlieferungszustand (fertigungsbedingt fett- und öelfrei) und
- b) Flanken geschmiert.



Zustand der Schraube: Anlieferungszustand
Vorspannkraft F_V : 3150 N

— M_F
- - - M_L

Bild 73a: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V1} = 3150$ N

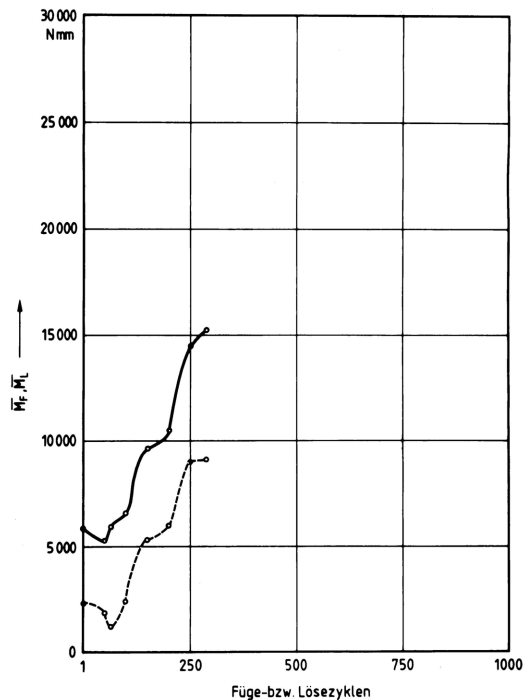


Zustand der Schraube: Anlieferungszustand
Vorspannkraft F_V : 3892 N

— M_F
- - - M_L

Bild 73b: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V2} = 3892$ N

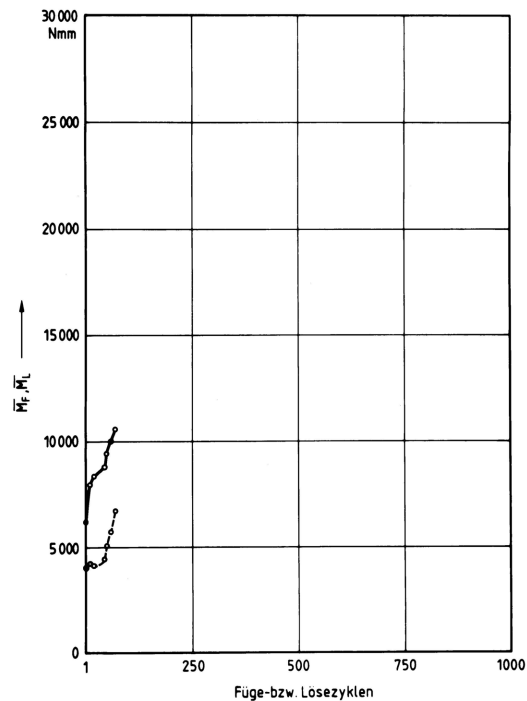
Bild 73a - d: Änderung des Füge- und Lösemomentes M_F , M_L , Abhängigkeit von den Füge- bzw. Lösezyklen n bei verschiedenen Vorspannkraften F_V für Schraube/Mutter Stahl 8.8 (Probe 027) im Anlieferungszustand



Zustand der Schraube: Anlieferungszustand
Vorspannkraft F_V : 6912 N

— M_F
- - - M_L

Bild 73c: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V3} = 6912$ N



Zustand der Schraube: Anlieferungszustand
Vorspannkraft F_V : 9080 N

— M_F
- - - M_L

Bild 73d: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V4} = 9080$ N

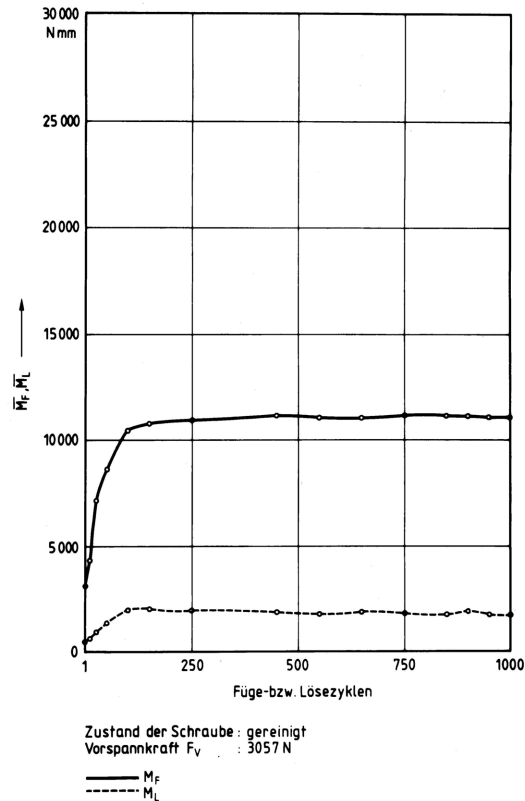


Bild 74a: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V1} = 3057$ N

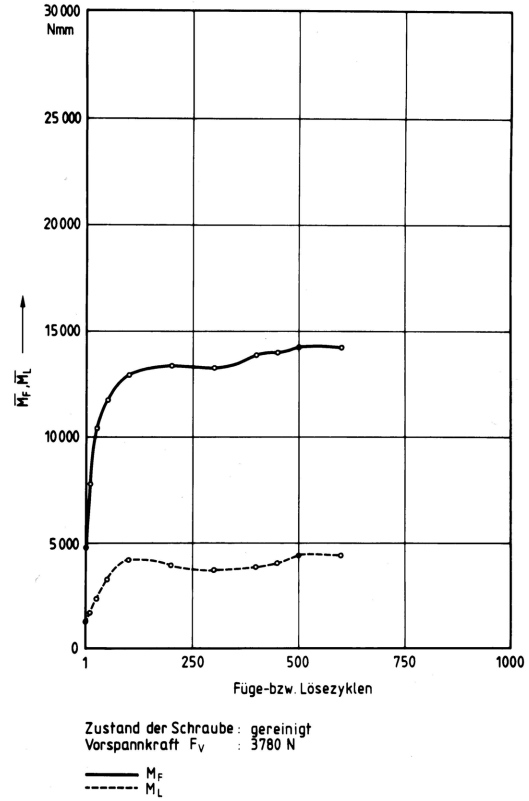
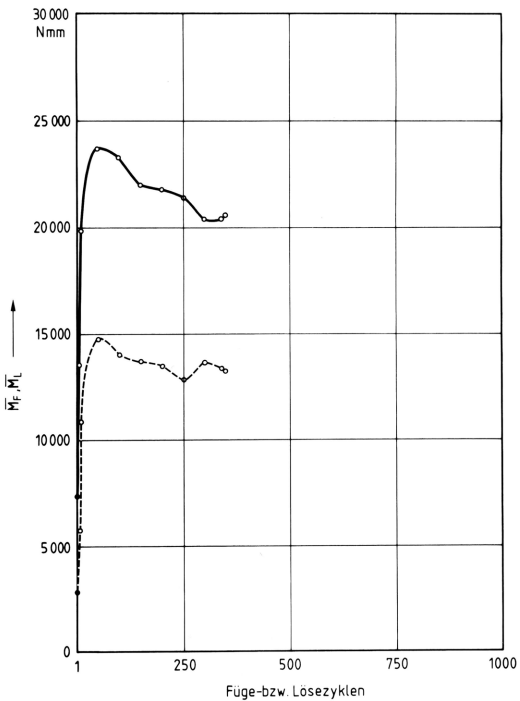


Bild 74b: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V2} = 3780$ N

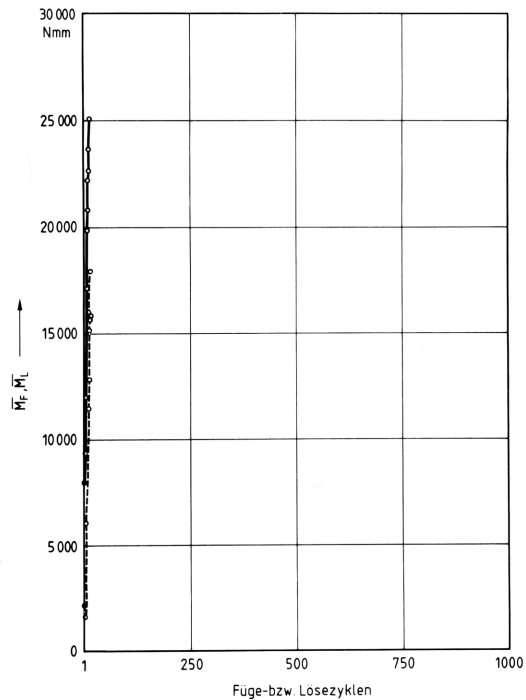
Bild 74a - d: Änderung des Füge- und Lösemomentes M_F , M_L , Abhängigkeit von den Füge- bzw. Lösezyklen n bei verschiedenen Vorspannkraften F_V für Schraube/Mutter Stahl 8.8 (Probe 027) im gereinigten Zustand



Zustand der Schraube: gereinigt
Vorspannkraft F_V : 6764 N

— M_F
- - - M_L

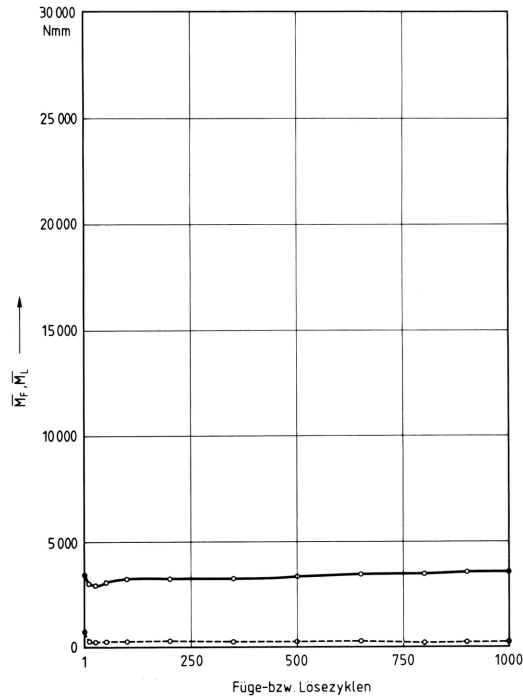
Bild 74c: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V3} = 6764$ N



Zustand der Schraube: gereinigt
Vorspannkraft F_V : 8874,4 N

— M_F
- - - M_L

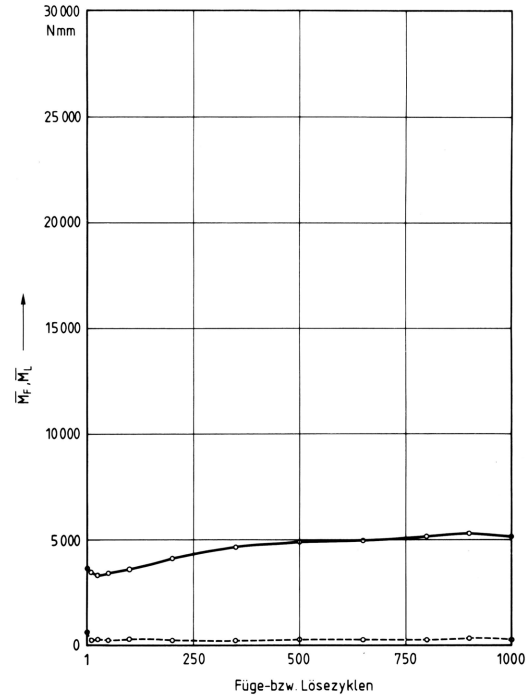
Bild 74d: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V4} = 8874$ N



Zustand der Schraube : gereinigt und geschmiert
Vorspannkraft F_V : 3150 N

— \bar{M}_F
- - - \bar{M}_L

Bild 75a: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V1} = 3150$ N

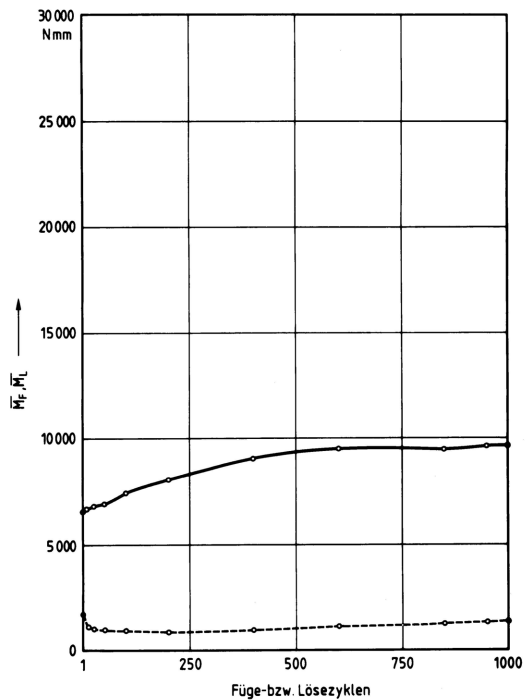


Zustand der Schraube : gereinigt und geschmiert
Vorspannkraft F_V : 3836 N

— \bar{M}_F
- - - \bar{M}_L

Bild 75b: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V2} = 3836$ N

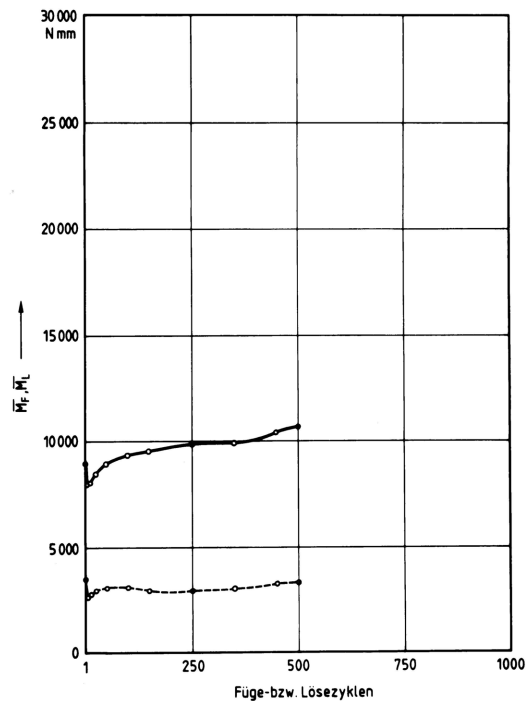
Bild 75a - d: Änderung des Füge- und Lösemomentes \bar{M}_F , \bar{M}_L in, Abhängigkeit von den Füge- bzw. Lösezyklen n für Schraube/Mutter Stahl 8.8 (Probe 027) im gereinigten und geschmierten Zustand



Zustand der Schraube : gereinigt und geschmiert
Vorspannkraft F_V : 6856 N

— M_F
- - - M_L

Bild 75c: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V3} = 6856$ N



Zustand der Schraube : gereinigt und geschmiert (Terosan 2)
Vorspannkraft F_V : 9117 N

— M_F
- - - M_L

Bild 75d: Schraube/Mutter (Stahl)
Vorspannkraft $F_{V4} = 9117$ N

Die Füge- bzw. Lösemomente bei der Probe aus PA 6.6 liegen anfänglich im Anlieferungszustand um ca. 40 % höher gegenüber denen des geschmierten Zustandes (Bild 76). Die Momente sinken in beiden Zuständen nach den ersten Zyklen und unterscheiden sich dann nur noch um etwa 20 % (Bild 76, 77).

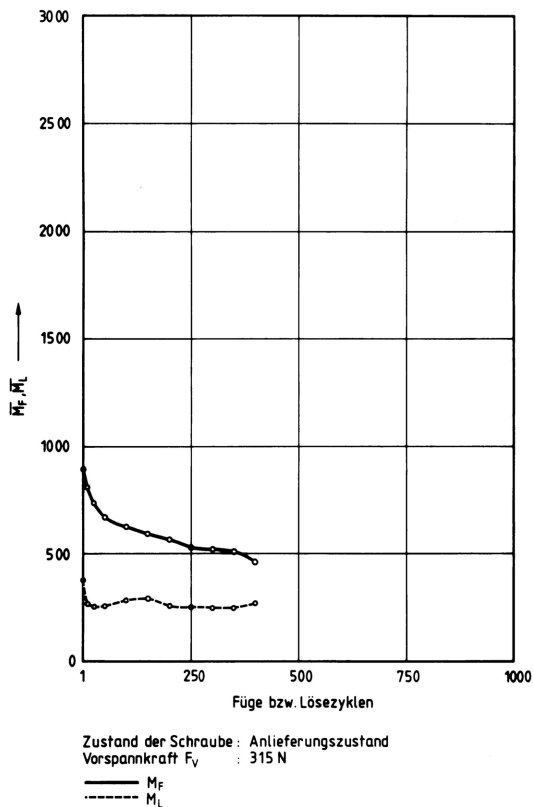


Bild 76: Änderung des Füge- und Lösemomentes M_F , M_L in Abhängigkeit von den Füge- bzw. Lösezyklen n für Schraube/Mutter PA 6.6 (Probe 014) im Anlieferungszustand, Vorspannkraft $F_{V1} = 315$ N

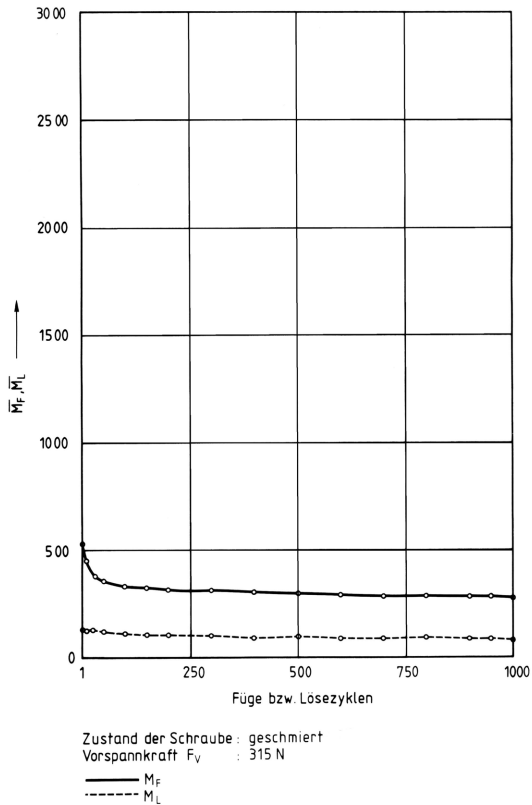


Bild 77: Änderung des Füge- und Lösemomentes M_F , M_L in Abhängigkeit von den Füge- bzw. Lösezyklen n für Schraube/Mutter PA 6.6 (Probe 014) im geschmierten Zustand, Vorspannkraft $F_{V1} = 315$ N

Statischer Füge/Löseversuch:

Zur Ermittlung des statischen Füge/Löseverhaltens für Schrauben/Muttern aus Stahl (Probe 027) wurden jeweils bei vier verschiedenen Vorspannkraften und zwei verschiedenen Steifigkeiten der Anschlußkonstruktion statische Füge/Löseversuche auf der in Kapitel 3.3.5.2 beschriebenen Prüfvorrichtung durchgeführt. In den Bildern 78, 79 sind die Versuchsergebnisse dargestellt.

Der Fügewirkungsgrad η_F liegt für das Verbindungselement zwischen 0,27 und 0,48, der für die gesamte Verbindung zwischen 0,37 und 0,90. Der Lösewirkungsgrad η_L nimmt für das Verbindungselement Werte zwischen 0,30 und 0,46 an, für die gesamte Verbindung 0,35 und 0,61.

Die Größe der Wirkungsgrade hängt u. a. von der Steifigkeit der Anschlußkonstruktion C_A und von der eingestellten Vorspannkraft $F_V(t)$ ab. Bei sinkender Federsteifigkeit wird bei konstanter Vorspannkraft mehr Energie E_S in der Verbindung gespeichert. Dadurch scheinen der Füge- und Lösewirkungsgrad mit Abnahme der Federsteifigkeit der Anschlußkonstruktion fast immer zuzunehmen. Die Zunahme des Fügewirkungsgrades mit steigender Vorspannkraft läßt sich dadurch erklären, daß die gespeicherte Energie E_S im Verhältnis zur Energie, die durch plastisches Verformen beim Setzen nicht zum "Nutzen" beiträgt, stärker ansteigt.

Da bei den Schrauben/Muttern aus Kunststoff schon nach sehr kurzer Belastungszeit auf Grund von Relaxationsvorgängen die Vorspannkraft $F_V(t)$ und damit die gespeicherte Energie E_S sinkt, wurden für diese drei Proben keine statischen Füge/Löseversuche durchgeführt.

Ermittlung des Zerstörungswirkungsgrades:

Aus den Kraft-Längungs-Diagrammen der Zugversuche wurden für die verschiedenen Proben bei unterschiedlichen Randbedingungen, wie unterschiedliche Abzugsgeschwindigkeit V und verschiedener Wassergehalt der Kunststoffe, die speicherbaren Energien $E_{0,2}$ und die Zerstörarbeit A_Z bestimmt. Die damit errechneten Zerstörungswirkungsgrade η_Z sind in den Bildern 80a, b, c, d dargestellt. Die PA 6.6-GF Schraube/Mutter weist je nach Randbedingungen einen Zerstörungswirkungsgrad von 0,21 bis 0,42 auf, bei der PA 6.6 Probe schwankt der Wert zwischen 0,06 und 0,22.

Für die PE-Schraube mit einer PA 6.6 Mutter liegt der Zerstörungswirkungsgrad zwischen 0,06 und 0,38. Bei der Stahlschraube beträgt er 0,11.

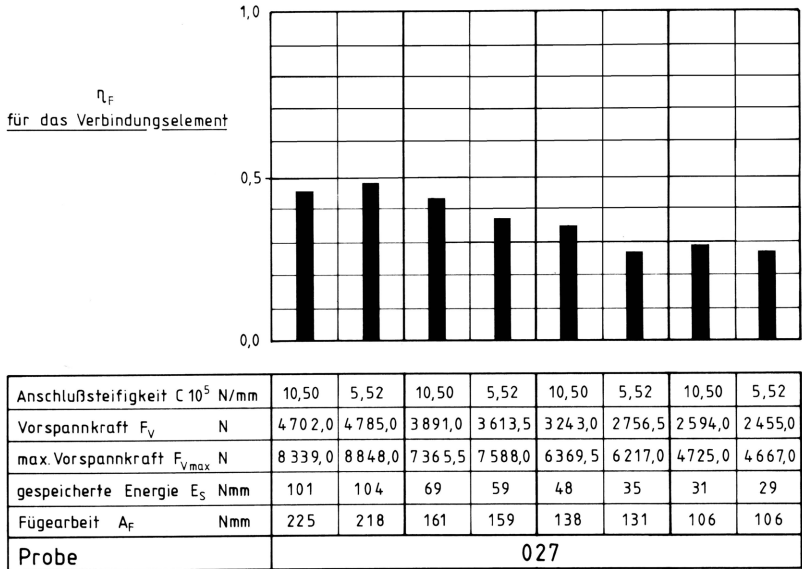


Bild 78a:

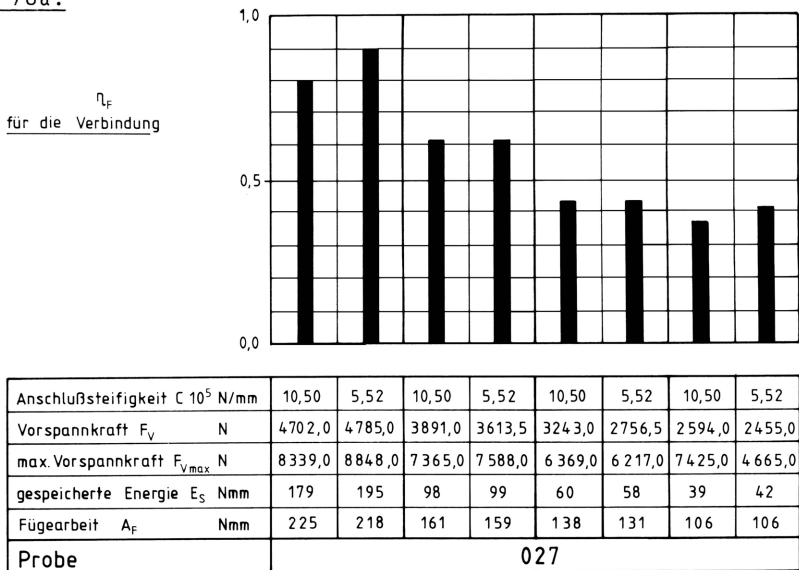
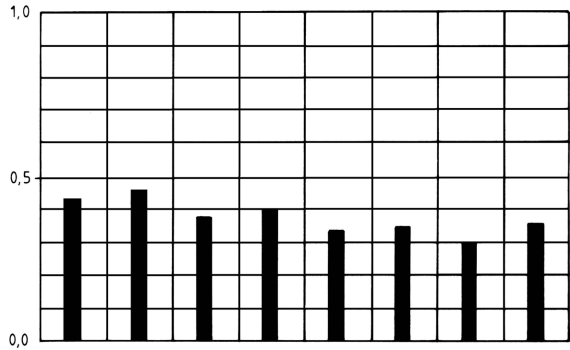


Bild 78b:

Bild 78a, b: Fügewirkungsgrad η_F des a) Verbindungselements bzw. b) der Verbindung bei verschiedenen Vorspannkraften F_V und verschiedenen Anschlußsteifigkeiten C_A für Schraube/Mutter Stahl 8.8 (Probe 027)

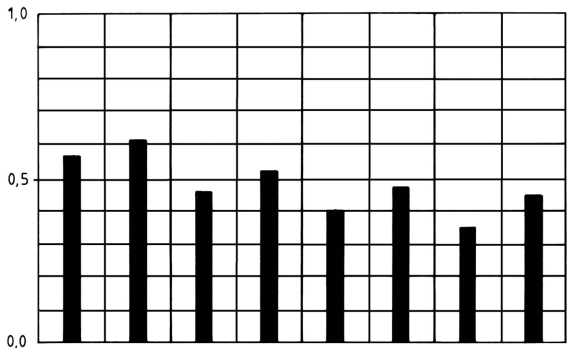
η_L
für das Verbindungselement



Anschlußsteifigkeit C 10 ⁵ N/mm	10,50	5,52	10,50	5,52	10,50	5,52	10,50	5,52
Vorspannkraft F _V N	4702,0	4785,0	3891,0	3613,5	3243,0	2756,5	2594,0	2455,0
max. Vorspannkraft F _{Vmax} N	8339,0	8848,0	7365,5	7588,0	6369,5	6217,0	4725,0	4667,0
gespeicherte Energie E _S Nmm	101	104	69	59	48	35	31	29
Lösearbeit A _L Nmm	133	123	114	87	92	64	73	51
Probe	027							

Bild 79a:

η_L
für die Verbindung



Anschlußsteifigkeit C 10 ⁵ N/mm	10,50	5,52	10,50	5,52	10,50	5,52	10,50	5,52
Vorspannkraft F _V N	4702,0	4785,0	3891,0	3613,5	3243,0	2756,5	2594,0	2455,0
max. Vorspannkraft F _{Vmax} N	8339,0	8848,0	7365,5	7588,0	6369,5	6217,0	4725,0	4665,0
gespeicherte Energie E _S Nmm	179	195	98	99	60	58	39	42
Lösearbeit A _L Nmm	133	123	114	87	92	64	73	51
Probe	027							

Bild 79b:

Bild 79a, b: Lösewirkungsgrad η_L des a) Verbindungselements bzw. b) der Verbindung bei verschiedenen Vorspannkraften F_V und verschiedenen Anschlußsteifigkeiten C_A für Schraube/Mutter Stahl 8.8 (Probe 027)

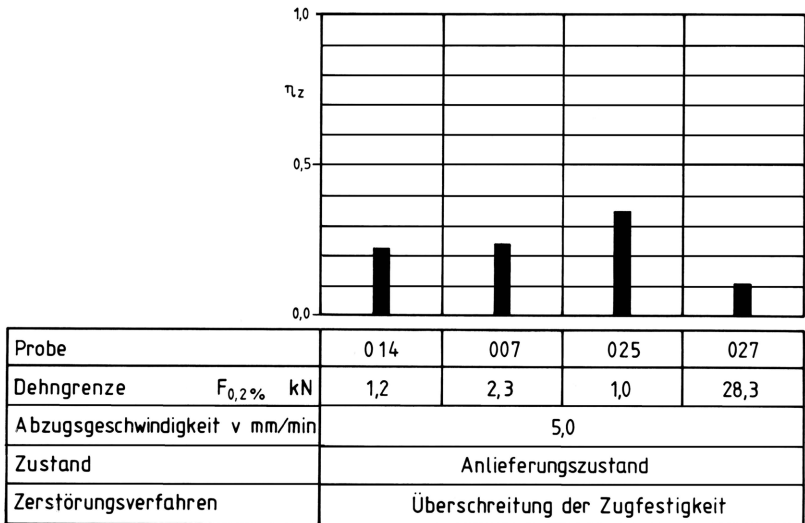


Bild 80a: Zerstörungswirkungsgrad für verschiedene Schrauben/
Muttern - Anlieferungszustand, V = 5 mm/min

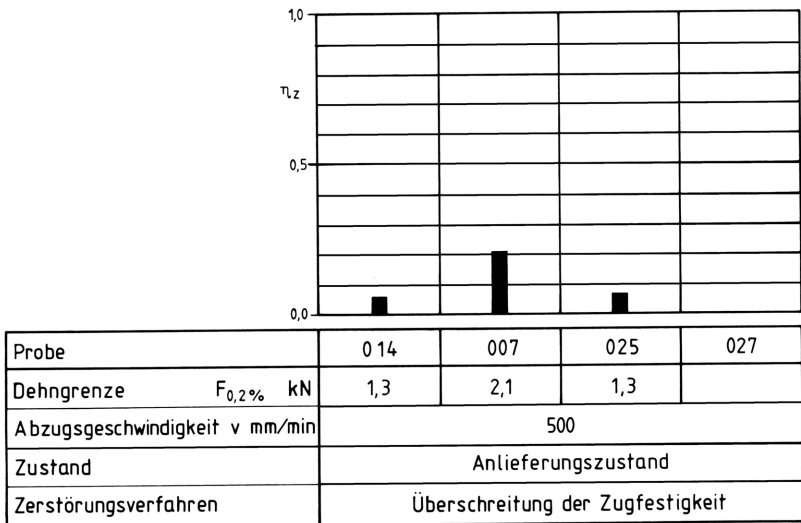
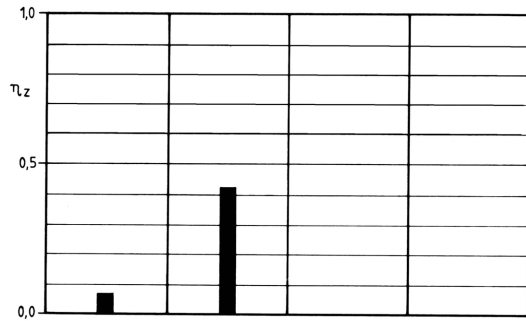
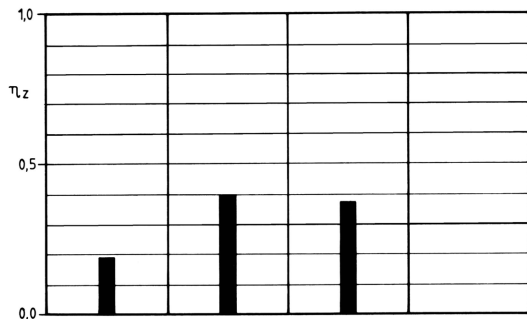


Bild 80b: Zerstörungswirkungsgrad für verschiedene Schrauben/
Muttern - Anlieferungszustand, V = 500 mm/min



Probe	014	007	025	027
Dehngrenze $F_{0,2\%}$ kN	1,2	2,6		
Abzugsgeschwindigkeit v mm/min	5,0			
Zustand	klimatisiert			
Zerstörungsverfahren	Überschreitung der Zugfestigkeit			

Bild 80c: Zerstörungswirkungsgrad für verschiedene Schrauben/Muttern - klimatisiert, $V = 5$ mm/min



Probe	014	007	025	027
Dehngrenze $F_{0,2\%}$ kN	0,6	1,4	0,8	
Abzugsgeschwindigkeit v mm/min	5,0			
Zustand	konditioniert			
Zerstörungsverfahren	Überschreitung der Zugfestigkeit			

Bild 80d: Zerstörungswirkungsgrad für verschiedene Schrauben/Muttern - konditioniert, $V = 5$ mm/min

Bild 80a - d: Zerstörungswirkungsgrad η_z für verschiedene Schrauben/Muttern beim Überschreiten der Zugfestigkeit in Hauptlastrichtung und Variation von Versuchsparametern

Beurteilung: Schraube mit Mutter

Das Maschinenelement Kunststoffschraube/-mutter kann ein für die statische und dynamische Belastung geeignetes Verbindungselement sein. Die möglichen Einsatzgebiete der hier untersuchten Kunststoffschrauben/muttern im Vergleich zur Stahlschraube/-mutter werden unter anderem durch deren Kriech- und Relaxationsverhalten eingeschränkt. Spielzunahme und/oder Vorspannverluste werden sich im allgemeinen bei Schrauben und Muttern aus Polyamid und Polyäthylen mit zunehmender Belastungszeit nicht vermeiden lassen.

Bei guter Schmierung der Flanken und ohne Kopfreibung können Schrauben und Muttern mehrmals gefügt und gelöst werden. Es treten hierbei keine erkennbaren Schäden an der Verbindung auf. Die Füge- bzw. Lösemomente sind im Verhältnis zum ungeschmierten Zustand gering und nehmen auch bei häufigem Fügen und Lösen nicht zu.

Die in den quasistatischen Füge/Löseversuchen ermittelten Wirkungsgrade machen deutlich, daß Schraubenverbindungen mit niedriger Federsteifigkeit und hohen Vorspannkräften bezüglich des Füge- und Löseverhaltens günstig gestaltet sind.

Für Schrauben und Muttern aus Kunststoff lassen sich der Füge- und Lösewirkungsgrad aufgrund des Relaxationsverhaltens der Kunststoffbauteile nicht bestimmen.

Das Zerstörverhalten, beschrieben durch den Zerstörungswirkungsgrad, ist bei den Schrauben und Muttern aus Kunststoffen im allgemeinen günstiger als bei der untersuchten Stahlschraube mit Mutter. Durch Variation des Wassergehaltes der Kunststoffschrauben/Muttern läßt sich der Betrag des Zerstörungswirkungsgrades beeinflussen.

4 Einsatz und Auswahl von Verbindungen

4.1 Vergleich verschiedener Verbindungsprinzipien bezüglich Tragfähigkeit und Füge- und Trennverhalten

Das Füge- und Trennverhalten von Verbindungen, das durch die in dieser Arbeit definierten Wirkungsgrade und Koeffizienten quantitativ beschrieben und einfach verglichen werden kann, hat u. a. auch einen wesentlichen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit der Instandhaltung und des Recyclings. Für verschiedene Gestaltvarianten der Verbindungsprinzipien Spannverschluß und Schraube mit Mutter, wurden experimentell und analytisch die neu definierten Auswahlkenngrößen zahlenmäßig bestimmt. In den Bildern 81a, b sind zum Vergleich die Versuchsergebnisse für die untersuchten Spannverschlüsse sowie Schrauben und Muttern zusammengestellt. Ein qualitativer Vergleich der Tragfähigkeit und des Füge- und Trennverhaltens für verschiedene Verbindungselemente ist in den Bildern 82a, b aufgelistet.

4.1.1 Quantitativer Vergleich von Spannverschluß und Schraube mit Mutter

Die Ergebnisse der Zug- und Dauerschwingversuche zeigen, daß die untersuchten Proben sowohl bei statischer als auch bei dynamischer Belastung Einsatz finden können. Hierbei muß dann aber das starke Relaxationsverhalten der Kunststoffschrauben mit Muttern aus PA 6.6 berücksichtigt werden, das durch den statischen Vorspannkoeffizienten von $S_V(20) = 0,5 \dots 0,6$ beschrieben wird.

Die Schraube mit Mutter aus Stahl weist gegenüber den untersuchten Spannverschlüssen ein gutes Fügeverhalten auf. Der Fügewirkungsgrad beträgt für die Schraube mit Mutter aus Stahl in Abhängigkeit von der Anschlußsteifigkeit und Vorspannkraft $\eta_F = 0,28 \dots 0,49$. Für die vier in der Gestalt verschiedenen Spannverschlüsse liegen die Fügewirkungsgrade bei $\eta_F = 0,08 \dots 0,26$.

Beim Lösewirkungsgrad unterscheiden sich die Zahlenwerte für die vier Gestaltvarianten von Spannverschlüssen, bei denen die Steifigkeiten und Hebelarmverhältnisse unterschiedlich sind, bis um das Fünffache ($\eta_L = 0,09 \dots 0,51$). Die Streuung der Werte für eine Gestaltvariante, die mit den großen Fertigungstoleranzen zu erklären ist, liegt bei ca. 5 %.

Für die Proben aus Stahl, die vier Spannverschlüsse und eine der Schrauben mit Muttern, ist das Trennen durch Zerstören der Verbindung sehr ungünstig, hier betragen die Zerstörungswirkungsgrade $\eta_Z = 0,08$ bis $0,11$. Im Gegensatz dazu sind die Proben 007 ($\eta_Z = 0,42$) und 025 ($\eta_Z = 0,38$) je nach Behandlungszustand zum Trennen durch Zerstören geeignet.

Das Fügen und Lösen der Schrauben/Muttern aus Stahl kann bei guter Schmierung und verhältnismäßig geringer Vorspannkraft mehrmals wiederholt werden, ohne daß sich die Füge- und Löse-momente und Vorspannkräfte wesentlich ändern. Dieses günstige Füge/Löseverhalten wird durch die dynamischen Vorspann-, Füge- und Lösekoeffizienten zum Ausdruck gebracht, die für die Probe 027 je nach Randbedingung 1,0 betragen.

Bei dem Spannverschluß Probe 004 betragen diese Koeffizienten 1,0 bzw. 0,9, d. h. auch dieses Verbindungselement weist noch, im Gegensatz zu den Proben 011, 012 und 013, ein günstiges Füge- und Löseverhalten auf.

Werden die Spannverschlüsse gefügt, wird die Anschlußkonstruktion und das Verbindungselement während des Fügevorgangs durch erheblich höhere Kräfte belastet als im gefügten Zustand.

Prinzipvariante			Spannverschluß				Schraube/Mutter			
Auswahlkenngrößen	Werkstoff	Probe	St				PA 6.6/PA 6.6			
			004	011	012	013	014	014	014	014
Zugkraft	F_{\max}	kN	14,8	7,8	3,2	7,8	1,6	2,0	1,8	1,0
dyn. Zugkraft bei 50% Überlebenswahrscheinlichkeit	$F_0 = F_M \pm F_A$	kN	1,50 ± 1,81	1,20 ± 0,27	0,70 ± 0,31	2,40 ± 0,67			0,50 ± 0,26	
Fügewirkungsgrad	η_F		0,08	0,09... 0,18	0,22... 0,26	0,01... 0,12				
Lösewirkungsgrad	η_L		0,08... 0,14	0,47	0,35... 0,51	0,17... 0,36				
Zerstörungswirkungsgrad	η_Z		0,08	0,07	0,07	0,10	0,22	0,06	0,08	0,18
stat. Vorspannkoeffizient	$S_V(20)$		1,0	1,0	1,0	1,0			0,5... 0,6	
Vorspannkoeffizient	S_V		0,14... 0,28	0,41... 0,64	0,79... 0,83	0,29... 0,53	0,9	0,9	0,9	0,9
dyn. Vorspannkoeffizient	$S_n(1000)$		0,9	0,3	0,8	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0
dyn. Fügekoeffizient	$S_F(1000)$		1,0	0,9	1,4	0,7			0,6	
dyn. Löseoeffizient	$S_L(1000)$		1,0	0,9	0,9	0,6			1,0	

Abzugsgeschwindigkeit V	mm/min	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	500,0	5,0	5,0
Behandlungszustand		Anlieferungszustand						klimatisiert	konditioniert
Vorspannkraft	$F_n(1)$	kN	1,00	1,50	0,50	2,00		0,32	

Bild 81a:

Bild 81a, b:

Quantitativer Vergleich der Tragfähigkeit und des Füge- und Trennverhaltens der untersuchten Spannverschlüsse und Schrauben mit Muttern

Prinzipvariante		Schraube/Mutter							
Auswahlkenngrößen	Werkstoff	PA 6.6 - GF / PA 6.6 - GF				PE / PA 6.6			St/St
	Probe	007	007	007	007	025	025	025	027
Zugkraft	F_{\max} kN	3,0	2,5	2,9	1,7	1,3	1,4	1,0	29,7
dyn. Zugkraft bei 50% Überlebenswahrscheinlichkeit	$F_0 = F_M \pm F_A$ kN								
Fügewirkungsgrad	η_F								0,38...0,49
Lösewirkungsgrad	η_L								0,28...0,49
Zerstörungswirkungsgrad	η_Z	0,24	0,21	0,42	0,40	0,35	0,06	0,38	0,11
stat. Vorspannkoeffizient	$S_V (20)$			0,7...0,8		0,4...0,7			1,0
Vorspannkoeffizient	S_V	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
dyn. Vorspannkoeffizient	$S_n (1000)$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
dyn. Fügekoeffizient	$S_F (1000)$								1,0...1,6
dyn. Lösekoeffizient	$S_L (1000)$								1,0

Abzugsgeschwindigkeit	V mm/min	5,0	500,0	5,0	5,0	5,0	500,0	5,0	5,0
Behandlungszustand		Anlieferungszustand		klimatisiert	konditioniert	Anlieferungszustand		konditioniert	Anlieferungs- zustand
Vorspannkraft	$F_n(1)$ kN								3,15... 6,85

Bild 81b: - Fortsetzung von Bild 81a -

Die maximale Vorspannkraft $F_V \text{ max}$ kann dann bis zu sieben Mal größer sein als die Vorspannkraft $F_V (t = 0)$, was durch den Vorspannkoeffizienten von $S_V = 0,14$ der Probe 004 zum Ausdruck gebracht wird.

Bei den Schrauben mit Muttern ist die maximale Vorspannkraft $F_V \text{ max}$ nur etwa 10 % größer als die Vorspannkraft $F_V (t=0)$. Hierbei wird aber ein Fügen ohne Kopfreibung, wie es durch die Gestaltung der Prüfvorrichtung (Füge/Lösevorrichtung für Schrauben mit Muttern in Bild 29) realisiert wurde, vorausgesetzt.

Zusammenfassung für den Spannverschluß und die Schraube mit Mutter:

Die Verbindungsprinzipien Spannverschluß und Schraube/Mutter können im allgemeinen die Instandhaltung und das Recycling von Produkten vereinfachen. Bei der Instandhaltung wird durch den Einsatz dieser Verbindungselemente der wiederholte Zugang und das mehrmalige Auswechseln von Bauteilen ermöglicht.

Bauteile, die beim Recycling getrennt den Recyclingkreisläufen zugeführt werden sollen, können miteinander lösbar verbunden werden. Auch durch Zerstören des Verbindungselementes ist ein Trennen von Bauteilen möglich. Einen wesentlicher Einfluß auf das Zerstörverhalten von Kunststoffbauteilen hat deren Wassergehalt.


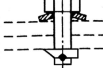

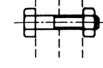
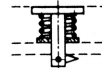

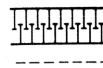
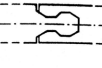
Zum Fügen und Lösen der Schraubverbindung werden im allgemeinen Werkzeuge wie Maul- oder Ringschlüssel verwendet, mit denen durch Drehen ein Torsionsmoment in die Schraube und Mutter eingeleitet wird, um Flanken- und Kopfreibmomente zu überwinden und Energie in der Verbindung zu speichern bzw. abzuleiten. Bei Schraubenverbindungen mit Flügelschrauben oder Flügelmuttern lassen sich Füge/Lösevorgänge auch ohne Werkzeug durchführen. Der Spannverschluß kann im allgemeinen von Hand gefügt und gelöst werden. Durch Schwenken des Verschlußhebels wird in der Verbindung Energie gespeichert bzw. abgeleitet.

4.1.2 Qualitativer Vergleich für eine Auswahl verschiedener Verbindungselemente:

Ein qualitativer Vergleich des Füge/Trennverhaltens ist mit Hilfe der definierten Auswahlkenngrößen auch möglich, wenn der Wirkmechanismus der Verbindung bekannt ist. Als Beispiel wurden in den Bildern 82a, b zusätzlich zu den untersuchten Verbindungsprinzipien weitere 8 verschiedene Verbindungselemente zusammengestellt und ihre Tragfähigkeit sowie ihr Füge/Trennverhalten qualitativ verglichen. Ein Teil dieser Verbindungselemente, wie die Schraube mit Mutter und der Niet, finden bereits häufiger Einsatz im Maschinenbau (siehe auch Kapitel 1, Bild 2), dagegen sind Einsatzfälle für den Magneten und den Klettverschluß kaum bekannt.

Als Grundlage für die Bewertung aller Verbindungsprinzipien dienten die in Kap. 2 definierten Auswahlkenngrößen. Die Kenngrößen wurden nur für eine Auswahl von Spannverschlüssen und Schrauben mit Muttern zahlenmäßig ermittelt. Bei den experimentellen Untersuchungen mit zwei verschiedenen Verbindungsprinzipien zeigte sich, daß die Zahlenwerte schon bei einer Prinzipvariante für verschiedene Gestaltvarianten von einander abweichen. Trotzdem ist für die zwei Prinzipvarianten jeweils eine Tendenz der Zahlenwerte zu erkennen, die sich auch mit der Funktionsweise dieser Verbindungselemente erklären läßt.

Das Fügeverhalten der Spannverschlüsse ist ungünstiger (Bewertung: mittel) als das der Schraube mit Mutter (Bewertung: gut), da beim Fügen ein Teil der zugeführten Energie wieder nach Erreichen des Totpunktes ungenutzt abfließt. Das dynamische Vorspannverhalten der Schraube mit Mutter ist mit gut bewertet, da bei jedem Fügevorgang im Gegensatz zum Spannverschluß wieder die ursprüngliche Vorspannkraft F_V eingestellt werden kann. Dieses günstige Verhalten trifft auch für das Band mit Schloß, den Magneten, die pneumatische bzw. hydraulische Druckdifferenz und den Kegelpreßverband zu.

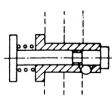
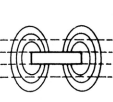
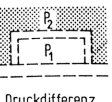
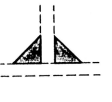
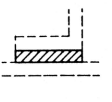
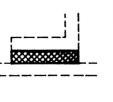
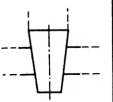
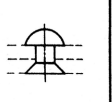
Verbindungs- prinzip								
Verhalten der Verbindung	Spannverschluß	1/4-Drehverschluß	Druck- Drehverschluß	Schraube/Mutter	Druck- Druckverschluß	Band mit Schloß	Klettverschluß	Formschlüssige Schnappverbindung
statisches Tragverhalten (Zugkraft)	●	○	○	●	○	●	●	●
statisches Tragverhalten (Scherkraft)	○	●	●	●	●	○	○	●
dynamisches Tragverhalten	●	●	○	●	○	●	○	○
Fügeverhalten	●	●	○	●	●	○	○	○
Löseverhalten	●	●	○	●	●	○	○	○
Zerstörverhalten	○	○	○	○ / ● (* ₁)	○	●	●	●
statisches Vorspannverhalten	●	●	●	● / ○ (* ₁)	●	●		
Vorspannverhalten	○	●		●	●	●		
dynamisches Vorspannverhalten	●	●		●	●	●		
dynamisches Fügeverhalten	●	●	●	●	●	●	●	●
dynamisches Löseverhalten	●	●	●	●	●	●	●	●

● – gut
 ● – mittel
 ○ – schlecht

(*₁) – Stahl/Kunststoff

Bild 82a:

Bild 82a, b: Qualitativer Vergleich der Tragfähigkeit und des Füge- und Trennverhaltens für eine Auswahl verschiedener Verbindungselemente

Verbindungs- prinzip Verhalten der Verbindung	 Kugelsperrbolzen	 Magnet	 Druckdifferenz Pneumatik bzw. Hydraulik	 Schweißnaht	 Lot	 Klebstoff	 Kegelprefverband	 Niet
statisches Tragverhalten (Zugkraft)	○	●	●	●	●	●	●	●
statisches Tragverhalten (Scherkraft)	●	○	○	●		●	●	●
dynamisches Tragverhalten	●	○	○	●	●	○	●	●
Fügeverhalten	○	●	●				●	○
Löseverhalten	○	●	●				○	●
Zerstörverhalten	○	●	●	○	●	●	○	○
statisches Vorspannverhalten		●	○				●	●
Vorspannverhalten		●	●				●	●
dynamisches Vorspannverhalten		●	●				●	○
dynamisches Fügeverhalten	●	●	●				●	●
dynamisches Löseverhalten	●	●	●				●	●

● – gut
 ● – mittel
 ○ – schlecht

Bild 82b: - Fortsetzung von Bild 82a -

Das mit schlecht beurteilte Fügeverhalten von Kugelsperrbolzen, Niet, Druck-Drehverschluß, Klettverschluß und der formschlüssigen Schnappverbindung ist damit begründet, daß in diesen formschlüssigen Verbindungen keine Energie E_S gespeichert werden kann und damit der Fügewirkungsgrad den Zahlenwert "Null" annimmt.

Das statische Vorspannverhalten ist für kraftschlüssige Verbindungselemente aus Kunststoff, wie die Kunststoffschraube/-mutter, aufgrund des Relaxationsverhaltens mit schlecht bewertet worden.

Beim Tragverhalten wurde zunächst das statische und dynamische unterschieden. Für das statische Tragverhalten wurden Belastungen in Längsrichtung des Verbindungselementes bzw. als Normalkraft beim Klettverschluß, dem Lot, dem Klebstoff und der pneumatischen bzw. hydraulischen Druckdifferenz und quer zum Verbindungselement unterschieden. Hier wurden dann die bolzenartigen Verbindungselemente unter Scherbelastung mit mittel oder gut beurteilt, wobei es bemerkenswert ist, daß die Gestalt des Wirkraumes einen wesentlichen Einfluß auf das Trag- und Füge/Trennverhalten von Verbindungen hat. In dem qualitativen Vergleich wurde bei den bolzenartigen Verbindungselementen (1/4-Drehverschluß, Druck-Drehverschluß, Schraube mit Mutter, Kugelsperrbolzen, Niet) vorausgesetzt, daß die Anschlußkonstruktion mit Durchgangslöchern versehen ist. Werden Langlöcher vorgesehen, fehlt in einer Bewegungsrichtung der für die Tragfähigkeit der Verbindung günstige Formschluß.

Bei der Schraube mit Mutter muß beim Lösen der Verbindung die Mutter von der Schraube völlig getrennt werden, wenn in der Anschlußkonstruktion Durchgangslöcher vorhanden sind. Dagegen muß bei verwendeten Langlöchern die Mutter auf der Schraube nur so weit verdreht werden, bis in der Verbindung keine Energie E_S gespeichert ist. Dann kann die Schraube zusammen mit der Mutter von der Anschlußkonstruktion getrennt werden.

Für die stoffschlüssigen Verbindungselemente, wie Klebstoff, Lot und Schweißnaht, läßt sich das dynamische Vorspann-, Füge- und Löseverhalten mit den neu definierten Koeffizienten nicht beschreiben, da diese Verbindungen nur einmalig durch Zerstören des Verbindungselementes getrennt werden können. Aus diesem Grund konnte auch nicht das Löseverhalten mit Hilfe des Lösewirkungsgrades für die Schweißnaht, das Lot und den Klebstoff bewertet werden.

4.2 Einfluß der Wirkraumgestalt auf das Füge/Trennverhalten einer Verbindung

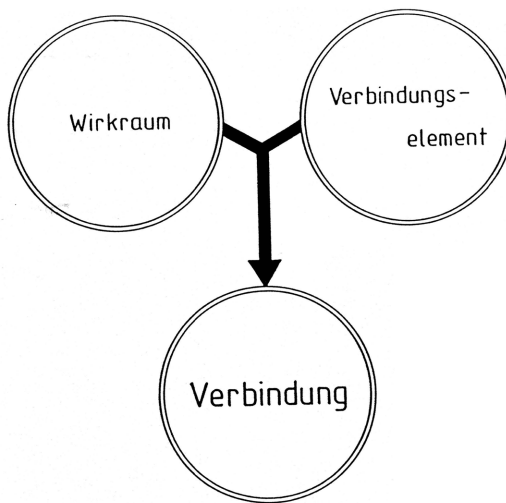


Bild 83: Grundelemente einer Verbindung

Die Eigenschaften einer Verbindung setzen sich aus denen des Verbindungselementes und denen des Wirkraumes zusammen (Bild 83).

In Kapitel 3.3.5 wurde das Füge/Trennverhalten von verschiedenen Verbindungen experimentell untersucht, wobei der Einfluß der Wirkraumgestalt auf die Eigenschaften der Verbindung durch Variation des Parameters "Anschlußsteifigkeit" beispielhaft ermittelt wurde. In Kapitel 4.1.2 wurde auf den Einfluß der Wirkraumgestalt auf das Füge/Trennverhalten von bolzenartigen Verbindungselementen hingewiesen.

Ein weiterer Parameter, der einen wesentlichen Einfluß auf das Füge/Trennverhalten einer Verbindung hat, ist die Art der Berührung zweier zu verbindender Bauteile. In Bild 84 sind Beispiele verschieden gestalteter Bauteile (Kugeln, Zylinder und Ebenen) abgebildet, von denen je zwei miteinander verbunden werden sollen. Die Berührungsarten zwischen diesen Körpern sind punkt-, linien- oder flächenförmig.

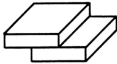





Bauteil II <i>Berührungsart</i>				
	Ebene	Zylinder	Kugel	
Bauteil I	flächenförmig	linienförmig	punktförmig	
Ebene	 1.1	 1.2	 1.3	
Zylinder		 2.2	 2.3	
Kugel			 3.3	

Bild 84: Beispiele für Berührungsarten unterschiedlich gestalteter Bauteile

Bewegung des oberen Bauteiles										
Bewegung des unteren Bauteiles										
Verbindung = Wirkraum + Verbindungselement	 1.1									
	 1.2									
	 1.3									
	 2.2									
	 2.3									
	 3.3									

Kraftschlüssige Verbindungen aus verschiedenen Berührungsarten von Bauteilen und einer Federklammer

- Bewegungsbehinderung durch Form- und Kraftschluß
- Bewegungsbehinderung durch Formschluß Bewegungsbehinderung durch Reibschluß
- Bewegungsbehinderung durch Kraftschluß keine Bewegungsbehinderung

Bild 85: Bewegungsbehinderung bei kraftschlüssiger Verbindung unterschiedlich gestalteter Bauteile

Um die Bauteile mit geringem Energieaufwand miteinander zu fügen bzw. zu trennen kann es sinnvoll sein, durch Wahl einer geeigneten Wirkraumgestalt und eines passenden Verbindungselementes noch ein Verschieben der Bauteile in X- oder Y-Richtung zur leichteren Montage und Demontage zu ermöglichen. Hierbei könnte dann eine Verbindung ohne Bewegungsbehinderung in X- bzw. Y-Richtung ausgewählt werden oder eine Verbindung, bei der in diesen Richtungen die Bewegungen nur durch Reibschluß mit relativ kleinem Reibwert behindert wird.

In Bild 85 ist dargestellt, welche Bewegungen zwischen verschiedenen gestalteten Bauteilen noch möglich sind bzw. durch welchen Schluß die Bewegung behindert wird, wenn die Körper mit einer Federklammer kraftschlüssig verbunden werden.

Im Beispiel 1.1, bei dem sich die Bauteile flächenförmig berühren, sind alle Freiheitsgrade der Körper zueinander bewegungsbehindert. Trotzdem ist ein einfaches Trennen der Teile durch Verschieben der Federklammer in X- bzw. Y-Richtung in Abhängigkeit vom Reibwert μ und der Vorspannkraft F_V möglich.

4.3 Entwicklung eines Konstruktionskataloges für Verbindungen mit Füge- und Trennverhalten beschreibenden Zugriffsmerkmalen

In Bild 86 ist ein Konstruktionskatalog für Verbindungen dargestellt. Im Gliederungsteil wird nach stoff-, form- und kraftschlüssigen Verbindungen unterschieden, die mittel- oder unmittelbar sind und bei denen das Trennen der Bauteile entweder durch Zerstörung eines bzw. beider Körper erfolgt oder ohne Zerstörung der Bauteile. Im Hauptteil sind für die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten beispielhaft Verbindungen zugeordnet. Im Zugriffsteil werden Füge- und Trennverhalten beschreibende Auswahlhilfen aufgelistet und im Anhang wird auf weiterführende Literatur und quantitativ darstellbare Auswahlhilfen hingewie-

sen. Um den Zugriffsteil noch weiter aufzugliedern und Zahlenwerte angeben zu können, die eine Zuordnung zu bestimmten Verbindungen ermöglicht, müssen weitere experimentelle Untersuchungen durchgeführt werden. Ziel dieser Untersuchungen muß es sein, für die verschiedenen Prinzipvarianten an Verbindungen Bereiche zu ermitteln, in denen sich die Zahlenwerte der jeweiligen Kenngröße bewegen. In den Bildern 87 und 88 sind Detailkataloge für Verbindungen dargestellt, in denen dann nur noch Verbindungen aufgenommen werden, die das Trennen ohne Zerstören der Bauteile ermöglichen, mittelbar sind und entweder zu den formschlüssigen oder kraftschlüssigen Verbindungen zählen. Im Hauptteil wird nach verschiedenen Berührungsarten und Gestaltungsbeispielen der Bauteile unterschieden, für die dann im Zugriffsteil für eine Auswahl von Verbindungselementen Gestaltungsbeispiele der möglichen Verbindungen dargestellt sind.























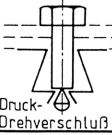
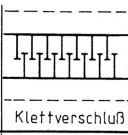
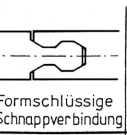
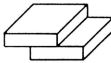
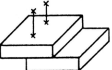
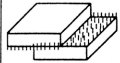
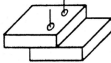















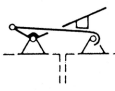
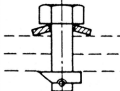
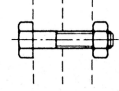
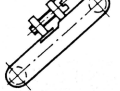

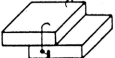
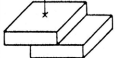
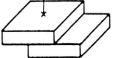
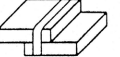

























Gliederungsteil			Hauptteil				Zugriffsteil								Anhang			
Charakteristische Schnittart	Art der Verbindung	Trennen mit/ohne Zerstörung eines bzw. beider Bauteile	Verbindungsbeispiel	Anordnungsbeispiel vor dem Trennen	Anordnungsbeispiel nach dem Trennen		E_s	η_F	η_L	S_V	$S_{V(II)}$	$S_{n(n)}$	$S_{F(n)}$	$S_{L(n)}$	Quantitative Auswahlkenngrößen			Weiterführende Literatur
1	2	3	1	2	3	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
Stoffschlüssig	Unmittelbar	mit	Schweißverbindung ohne Zusatzwerkstoff			1	= 0,0	nicht definiert	nicht definiert	nicht definiert	nicht definiert	nicht definiert	nicht definiert	nicht definiert	$F_{V(n)}$ Vorspannkraft nach der Zeit t	$F_{L(max)}$ Maximale Lösekraft	$F_{n(n)}$ Vorspannkraft nach n Fügezyklen	① Meyer, H.: Recyclingorientierte Produktgestaltung Fortschrittbericht der VDI-Z. Reihe 1, Nr. 98 Düsseldorf: VDI-Verlag 1983
	Mittelbar		Schweißverbindung mit Zusatzwerkstoff			2									$F_{V(max)}$ Maximale Vorspannkraft	$M_{L(max)}$ Maximales Lösemoment	$F_{F(n)}$ Fügekraft nach n Fügezyklen	
	ohne	Lötverbindung			3	$F_{Z(max)}$ Maximale Zerstörkraft									$F_{L(n)}$ Maximale Zerstörkraft nach n Fügezyklen	$F_{L(n)}$ Lösekraft nach n Fügezyklen		
Formschlüssig	Unmittelbar	mit	Bördelverbindung			4	= 0,0	= 0,0	= 0,0	nicht definiert	nicht definiert	nicht definiert			$M_{V(max)}$ Maximales Vorspannmoment	A_L Lösearbeit	$M_{n(n)}$ Vorspannmoment nach n Fügezyklen	② Pourschirazi, M.: Recycling und Werkstoff-Substitution bei technischen Produkten als Beitrag zur Ressourcenschonung Schriftenreihe Konstruktions-technik Nr.12 TU Berlin 1987
		ohne	Schnappverbindung			5									$M_{F(max)}$ Maximales Fügemoment	$M_{F(n)}$ Fügemoment nach n Fügezyklen	$M_{F(n)}$ Fügemoment nach n Fügezyklen	
	Mittelbar	mit	Bördelverbindung			6									A_F Fügearbeit	η_L Lösewirkungsgrad	$M_{L(n)}$ Lösemoment nach n Fügezyklen	
	ohne	Bolzenverbindung			7	E_s gespeicherte Energie									η_Z Zerstörungswirkungsgrad	$E_{L(n)}$ speicherbare Energie		
Kraftschlüssig	Unmittelbar	mit	Preßverbindung			8	≥ 0,0	≥ 0,0 < 1,0	≥ 0,0 < 1,0	≥ 0,0	≥ 0,0	≥ 0,0	≥ 0,0	≥ 0,0	η_F Fügewirkungsgrad			③ Schmidtke, K.: Einsatzmöglichkeiten von recyclingfördernden Verbindungselementen im Maschinenbau Studienarbeit TU Berlin 1986 (unveröffentlicht)
		ohne	Schraubverbindung			9									S_V Vorspannkoeffizient			
	Mittelbar	mit	Preßverbindung			10									$S_{F(n)}$ dynamischer Fügekoeffizient			
	ohne	Schraubverbindung			11	$S_{L(n)}$ dynamischer Lösekoeffizient												

Bild 86: Konstruktionskatalog für Verbindungen mit Füge- und Trennverhalten beschreibenden Zugriffsmerkmalen (Entwurf)

Gliederungsteil			Hauptteil			Zugriffs teil			
Charakteristische Schlußart	Art der Verbindung	Trennen mit/ ohne Zerstörung eines bzw. beider Bauteile	Berührungsart der zu verbindenden Bauteile	Gestaltungsbeispiele der Bauteile	Nr.	Gestaltungsbeispiele für Verbindungen			
						 Druck-Drehverschluß	 Klettverschluß	 Formschlüssige Schnappverbindung	
1	2	3	1	2	Nr.	1	2	3	4
Form-schlüssig	Mittelbar	ohne	flächenförmig		1				
			linienförmig		2		—		
					3		—		
			punktförmig		4		—		
					5		—		
					6		—		

Gliederungsteil			Hauptteil			Zugriffs teil			
Charakteristische Schlußart	Art der Verbindung	Trennen mit/ ohne Zerstörung eines bzw. beider Bauteile	Berührungsart der zu verbindenden Bauteile	Gestaltungsbeispiele der Bauteile		Gestaltungsbeispiele für Verbindungen			
									
						Spannverschluß	1/4 Drehverschluß	Schraube/Mutter	Band mit Schloß
1	2	3	1	2	Nr.	1	2	3	4
Kraftschlüssig	Mittelbar	ohne	flächenförmig		1				
			linienförmig		2				
					3				
			punkt förmig		4				
					5				
					6				

5 Schlußbetrachtung

5.1 Gesamtzusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Auswahlkenngrößen definiert, die einen zahlenmäßigen Vergleich des statischen bzw. dynamischen Füge- und Trennverhaltens für Verbindungen ermöglichen.

Um das Füge- bzw. Trennverhalten verschiedener Verbindungselemente und ihr Tragverhalten vergleichend untersuchen zu können, wurden geeignete Prüfverfahren und -bedingungen entwickelt.

Für sieben Prinzipvarianten von Verbindungen, dem Spannverschluß, dem 1/4-Drehverschluß, dem Druck-Drehverschluß, der Schraube mit Mutter, dem Druck-Druckverschluß, dem Stahlband mit Schloß und dem Klettverschluß, wurde das statische und dynamische Tragverhalten bei Kurz- und Langzeitbelastung bestimmt.

Für zwei Prinzipvarianten, dem Spannverschluß und der Schraube mit Mutter, wurde das statische bzw. dynamische Füge- und Trennverhalten untersucht.

Für die verschiedenen Gestaltvarianten konnten Schwachstellen ermittelt und Verbesserungsvorschläge angegeben werden.

Der Einfluß der Wirkraumgestalt auf das Füge/Trennverhalten einer Verbindung konnte anhand von Beispielen verdeutlicht werden.

Es wurde ein Konstruktionskatalog für Verbindungen mit Zugriffsmerkmalen entwickelt, die das Füge- und Trennverhalten quantitativ beschreiben.

5.2 Ausblick

Erkenntnisse aus den hier durchgeführten Untersuchungen liefern Ansätze für weitere Forschungsarbeiten:

- Weitere Untersuchung des statisch und dynamischen Kurz- und Langzeitverhaltens von Verbindungen mit günstigen Füge- und Trennverhalten.
- Weitere Untersuchungen des Füge- und Trennverhaltens von Verbindungen zur Bestimmung der neu definierten Auswahlkenngrößen.
- Optimierung von Verbindungen bezüglich des Füge- und Trennverhaltens.
- Optimierung von Verbindungen mit gutem Füge- und Trennverhalten bezüglich ihrer Tragfähigkeit.
- Ermittlung weiterer Auswahlkenngrößen zur quantitativen Darstellung des Eigenschaftsprofils von Verbindungen, die auch Randbedingungen, wie z. B. Montagerichtung, Raumbedarf, Werkzeugauswahl, Wirkraumgestalt berücksichtigen.
- Entwicklung neuer Verbindungen mit günstigen Füge-, Löse- und Zerstörungswirkungsgraden bei gutem Tragverhalten.
- Entwicklung von Montage-, Demontage- und Zerstörungsverfahren und -bedingungen, die das Montieren und Trennen vereinfachen.
- Untersuchung des Einflusses von Zerstörverfahren und -abläufen auf die Größe des Zerstörungswirkungsgrades.

- Entwicklung und Normung von Versuchsverfahren und -bedingungen des Füge- bzw. Trennverhaltens von verschiedenen Verbindungsprinzipien.

6 Literaturangaben

- /1/ Ampro-Produkt-Informations-System: System-Katalog Fachgebiet Verbindungselemente/Verbindungstechnik. Darmstadt: Verlag Hoppenstedt & Co. 1984
- /2/ Baumgart, J.: Entwicklung einer Prüfvorrichtung zur Bestimmung des Schließ- und Öffnungsverhaltens von Schraubenverbindungen. Diplomarbeit, TU Berlin 1986 (unveröffentlicht)
- /3/ Beisert, Th.: Füge- und Löseversuche an handelsüblichen Spannverschlüssen. Studienarbeit, TU Berlin 1987 (unveröffentlicht)
- /4/ Beitz, W.: Demontagefreundliche Schnappverbindungen. VDI Bericht Nr. 493. Düsseldorf: VDI-Verlag 1983
- /5/ Beitz, W.; Bruchhold, I.: Untersuchungen an Kunststoffschrauben/-muttern und Schnellverschlüssen. Unveröffentlichter DFG-Zwischenbericht (Be 479/38-3). TU Berlin 1985
- /6/ Beitz, W.; Bruchhold, I.: Recyclingfördernde Verbindungselemente. Auswahl der Versuchsergebnisse. Unveröffentlichter DFG-Zwischenbericht (Be 479/38 1 bis 4). TU Berlin 1986
- /7/ Beitz, W.; Bruchhold, I.: Anwendung recyclingfördernder Verbindungselemente. Unveröffentlichter DFG-Abschlußbericht (Be 479/41). TU Berlin 1988
- /8/ Beitz, W.; Bruchhold, I.; Hähn, G.: Tragfähigkeit recyclingfördernder Verbindungen. Unveröffentlichter DFG-Abschlußbericht (Be 479/38 Teil 1 und 2). TU Berlin 1987
- /9/ Beitz, W.; Bruchhold, I.; Hähn, G.: Recyclingfördernde Verbindungstechnik, in: Thomé-Kozmiansky, K.J.; Hrsg: Käufer, H.: Recycling von Kunststoffen 1. Berlin: EF-Verlag für Energie- und Umweltechnik GmbH 1987. Seite 85 - 93
- /10/ Beitz, W.; Bruchhold, I.; Hähn, G.: Recyclingfördernde Verbindungselemente. Unveröffentlichter DFG-Zwischenbericht (Be 479/38-2). TU Berlin 1984
- /11/ Beitz, W.; Juckenack, D., Mardaneh, H.: Recyclingfördernde Verbindungselemente. Unveröffentlichter DFG-Zwischenbericht (Be 479/38-1). TU Berlin 1983

- /12/ Beitz, W.; Küttner, K.-H.: Dubbel. Taschenbuch für den Maschinenbau. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 16. Auflage 1987
- /13/ Bruchhold, I.: Vergleich der Tragfähigkeit und des Füge- und Trennverhaltens von lösbaren Verbindungen. Konstruktion (erscheint demnächst)
- /14/ Brüel & Kjaer: Digitalvoltmeter. 2850 Naerum, Dänemark
- /15/ Camloc-Fastener GmbH: Schnellverschlüsse, Katalog-Nr. 500. 6233 Kelkheim
- /16/ Carl Schenck AG: Universalzugprüfmaschine. 6100 Darmstadt
- /17/ Dengel, D.: Die arcsin P Transformation. Ein einfaches Verfahren zur grafischen und rechnerischen Auswertung geplanter Wöhlerversuche. Zeitschrift für Werkstofftechnik 6, Heft 8 (1975), S. 253 - 261
- /18/ DIN 267, Teil 1, Teil 2, Beiblatt 1 an Teil 2: Mechanische Verbindungselemente. Berlin: Beuth-Verlag 1982, 1984
- /19/ DIN 3132: Spannverschlüsse, plombierbar, mit kurzer Auflagefläche. Berlin: Beuth-Verlag 1984
- /20/ DIN 3133: Spannverschlüsse, plombierbar, mit langer Auflagefläche. Berlin: Beuth-Verlag 1984
- /21/ DIN 3134: Spannverschlüsse, mit und ohne Verschlüßse. Berlin: Beuth-Verlag 1984
- /22/ DIN 8593: Fertigungsverfahren Fügen. Berlin: Beuth-Verlag 1967
- /23/ DIN 50014: Normalklimate. Berlin, Köln: Beuth-Verlag 1975
- /24/ DIN 50100: Dauerschwingversuch, Begriffe, Zeichen, Durchführung, Auswertung. Berlin, Köln: Beuth-Verlag 1978
- /25/ DIN 50145: Zugversuch, Prüfung metallischer Werkstoffe. Berlin, Köln: Beuth-Verlag 1975
- /26/ DIN 53441: Spannungsrelaxationsversuch, Prüfung von Kunststoffen. Berlin: Beuth-Verlag 1984
- /27/ DIN 53444: Zeitstand-Zugversuch, Prüfung von Kunststoffen. Berlin, Köln: Beuth-Verlag 1968

- /28/ DIN 53446 (Entwurf): Verhalten bei Temperatureinwirken, Prüfung von Kunststoffen.
Berlin: Beuth-Verlag 1982
- /29/ DIN 53455: Zugversuch, Prüfung von Kunststoffen.
Berlin, Köln: Beuth-Verlag 1981
- /30/ 3M Deutschland GmbH: Produkt-Information: Scotch.
4040 Neuss
- /31/ DZUS Fasteners GmbH: DFE 23 Informations-Blatt.
6074 Rödermark
- /32/ Ehrlenspiel, K.: Kostengünstig Konstruieren. Berlin,
Heidelberg, New York, Tokyo: Springer-Verlag 1985
- /33/ Ehrenstein, G. W.; Maertin, Cl.: Die Eigenverstärkung
von Thermoplasten im Spritzguß, in: Neue Werkstoffe,
Fachaufsätze zur Materialforschung, auf der METAV 86.
Düsseldorf 1986
- /34/ Gadzali GmbH: Werkzeuge + Maschinen.
5024 Puhlheim
- /35/ Gemi-Metallwarenfabrik Gustav Henning KG.
3538 Marsberg
- /36/ G. L. Collins Corporation: Induktiver Wegaufnehmer.
Long Beach, Kalifornien, USA
- /37/ Hamm-Hydraulik GmbH + Co.KG.: Hydraulische Mutternsprenger. 4300 Essen
- /38/ Hähn, G.: Verbinden von Metall- und Kunststoffbauteilen durch eine neuartige Schnappverbindung.
Konstruktion 37 (1985), S. 309 - 312
- /39/ Hewlett Packard GmbH Vertriebszentrale Frankfurt:
X-Y Recorder. 6000 Frankfurt
- /40/ Hoffer, K.; Schnabel, W.: Schnellverschlüsse, in
Verbindungstechnik, H. 10, S. 31 - 33.
- /41/ Instron GmbH: Präzisionsuniversalprüfmaschine.
Vertretung: 8752 Dettingen/Main
- /42/ Linseis KG Prüfgerätebau: Bedienungsanleitung für
Kompensations-Schreiber der Serie L 900.
8672 Seib/Bayern
- /43/ Meyer-Eschenbach, A.: Entwicklung einer Prüfvorrichtung zur Bestimmung des Schließ- und Öffnungsverhaltens von Stahlbändern mit Schloß.
Studienarbeit, TU Berlin 1988 (unveröffentlicht)

- /44/ Meyer, H.: Recyclingorientierte Produktgestaltung. Fortschritt-Bericht der VDI-Z. Reihe 1, Nr. 98. Düsseldorf: VDI-Verlag 1983
- /45/ Oechsler + Sohn GmbH: Produkt Information Kunststoff-schrauben. 8800 Ansbach
- /46/ Oetiker Metallwaren- und Apperatefabrik GmbH: Oetiker, Stufenlose Klemmen. 2000 Hamburg
- /47/ Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre, Handbuch für Studium und Praxis, 2. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York, Tokio: Springer-Verlag 1986
- /48/ Park, H. D.: Einsatzmöglichkeiten und Gestaltungsbeispiele verschiedener ausgewählter Verbindungselemente im Maschinenbau. Diplomarbeit TU Berlin 1988 (unveröffentlicht)
- /49/ Pourshirazi, M.: Recycling und Werkstoffsubstitution bei technischen Produkten als Beitrag zur Ressourcenschonung. Schriftenreihe-Konstruktionstechnik Nr. 12. Berlin 1987
- /50/ Reinholz, R.: Verbindungstechnik bei Personen-Kraftfahrzeugen. Diplomarbeit, TU Berlin 1987 (unveröffentlicht)
- /51/ Rheinmetall Meß- und Prüftechnik GmbH: Trägerfrequenz-Meßverstärker. 4040 Neuss
- /52/ Rosemann, H.: Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit bei zeitabhängigen Ausfall- und Reparaturen, in: Konstruktion 36 (1984), H. 9, S. 347 - 352
- /53/ Roth, K.: Verschlußglieder und Verschlüsse aus Kunststoffteilen mit Vielfachfunktionen. Konstruktion 28 (1976), S. 249 - 258
- /54/ Roth, K.: Systematik fester Verbindungen als Grundlage für ihre sinnvolle Anwendung und Weiterentwicklung. VDI-Z. 122 (1980), S. 381 - 389
- /55/ Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1982
- /56/ Roth, K.: Einheitliche Systematik der Verbindungen. VDI-Berichte Nr. 493. Düsseldorf: VDI-Verlag 1983
- /57/ Roth, K.: Mechanismus der kraftschlüssigen festen Verbindung. VDI-Berichte Nr. 493. Düsseldorf: VDI-Verlag 1983

- /58/ Roth, K.: Analyse und systematische Einteilung fester Verbindungen.
Konstruktion 36 (1984) H. 7. S. 241 - 252
- /59/ Roth, K.; Kopowski, E.: Konstruktionskataloge fester Verbindungen.
VDI-Zeitung 124 (1982) Nr. 6, S. 193 - 204
- /60/ Salvo, A.: Konstruktion einer Prüfvorrichtung zur Bestimmung des Schließ- und Öffnungsverhaltens von Viertel-Drehverschlüssen. Konstruktive Übung,
TU Berlin 1987 (unveröffentlicht)
- /61/ Schmidtke, K.: Einsatzmöglichkeiten von recycling-fördernden Verbindungselementen im Maschinenbau.
Studienarbeit, TU Berlin 1986 (unveröffentlicht)
- /62/ Southco Fasteners GmbH: Handbook 33. 7750 Konstanz
- /63/ Tsilchorozidis, G.: Füge- und Löseversuche an Schrauben/Muttern. Studienarbeit, TU Berlin 1987
(unveröffentlicht)
- /64/ VDI-Richtlinie 2232 (Entwurf): Methodische Auswahl fester Verbindungen, Systematik, Konstruktionskataloge, Arbeitshilfen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1987
- /65/ VDI-Richtlinie 2243 (Entwurf): Recyclingorientierte Gestaltung technischer Produkte.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1984
- /66/ Verbindungselemente Vertriebs-Gesellschaft mbH & Co KG: ODDIE, Schnellverschlüsse für lösbare Verbindungen. 5758 Fröndenberg/Ruhr
- /67/ Weege, R.-D.: Recyclinggerechtes Konstruieren.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1981
- /68/ Werit-Kunststoffwerke W. Schneider GmbH + Co.: Kunststoff-Schrauben Muttern und Zubehör, 1/85.
5230 Altenkirchen.
- /69/ Xing, Gao: Systematik der Verbindungen. Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.
Dissertation TH Aachen 1983

SCHRIFTENREIHE KONSTRUKTIONSTECHNIK

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Beitz, Institut für Maschinenkonstruktion - Konstruktionstechnik - der Technischen Universität Berlin

ISSN 0173-0509. - Bd. 1 (1980) ff.

-
- | | |
|---|--|
| <p>1 Heuristische Methoden als Hilfen zur Entscheidungsfindung beim Konzipieren technischer Produkte (D). - Heinrich Georg Schmidt. - 1980. - 209 S. A 5
ISBN 3-7983-0697-4 DM 7.00</p> <p>2 Rechnerunterstützte Gestaltung von Schraubenverbindungen. Grundlegende Aussagen zum Aufbau von CAD-Berechnungsprogrammen (D). - Michael Galwelat. - 1980. - 127 S. A 5
ISBN 3-7983-0699-0 DM 7.00</p> <p>3 Tragfähigkeit von Gestaltungsvarianten linienhafter Kraftformschlußverbindungen aus Thermoplasten. - Ingo Gertig. - 1981. - 217 S. A 5
ISBN 3-7983-0767-9 DM 7.50</p> <p>4 Tragfähigkeit von Querverbänden (D). - Gerhard Galle. - 1981. - 243 S. A 5
ISBN 3-7983-0768-7 DM 10.00</p> <p>5 Welle-Nabe-Verformungsanalyse mittels Holographie. - Dietrich Juckenack. - Hrsg.: Wolfgang Beitz. - 1983. - 236 S. A 5
ISBN 3-7983-0857-8 DM 30.00</p> <p>6 Untersuchungen zum Tragverhalten von Mehrschraubenverbindungen (D). - Karl-Heinrich Grote. - 1984. - 154 S. A 5
ISBN 3-7983-0989-2 DM 19.00</p> <p>7 Kurzkalkulationsverfahren zur Kostenermittlung beim methodischen Konstruieren. - Ulrich Klasmeier. - 1985. - 212 S. A 5
ISBN 3-7983-1057-2 DM 19.00</p> <p>8 Optimierungsmethodik für Arbeitseinrichtungen von Hydraulikbaggern. Ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik. - Pei-en Feng. - 1986. - 252 S. A 5
ISBN 3-7983-1105-6 DM 23.00</p> | <p>9 Methodische Entwicklung technischer Systeme mit Software- und Hardwarekomponenten für integrierte Meßdatenverarbeitung (D). - Stefan Brunthaler. - 1986. - 188 S. A 5
ISBN 3-7983-1109-9 DM 19.00</p> <p>10 Zum Verhalten biege- und torsionsbelasteter Profilwellenverbindungen (D). - Ulrich Hove. - 1986. - 160 S., zahlr. Abb. A 5
ISBN 3-7983-1113-7 DM 21.00</p> <p>11 Untersuchung der Lebensdauer und Verlustleistung spritzgegossener Polyacetal-Zahnräder. - Joachim Martini. - 1987. - 232 S., zahlr. Abb. u. Tab. A 5
ISBN 3-7983-1179-X DM 24.00</p> <p>12 Recycling und Werkstoffsubstitution bei technischen Produkten als Beitrag zur Ressourcenschonung. - Mohammad Pourshirazi. - 1987. - 174 S. 1 Faltbl., zahlr. Abb. u. Tab. A 5
ISBN 3-7983-1180-3 DM 18.00</p> <p>13 Möglichkeiten und Grenzen keramischer Werkstoffe im Maschinenbau. - Mohammad Pourshirazi. 1987. 84 S. A 5
ISBN 3-7983-1202-8 DM 14.00</p> <p>14 Untersuchungen zur werkstoffgerechten Verbindungstechnik für keramische Bauteile. - Günter Hähn. 1988. 186 S. A 5
ISBN 3-7983-1241-9 DM 18.00</p> <p>15 Untersuchung der Tragfähigkeit und des Füge- und Trennverhaltens von lösbar-Verbindungen. - Ingo Bruchhold. - 1988. 164 S. A 5
ISBN 3-7983-1266-4 DM 26.00</p> |
|---|--|
-

Vertrieb: Technische Universität Berlin, Universitätsbibliothek
Abteilung Publikationen
Straße des 17. Juni 135, 1000 Berlin 12
Telefon: (030) 314 22976. Telex: 01 83 872 ubtu d

ISBN 3 7983 1266 4